

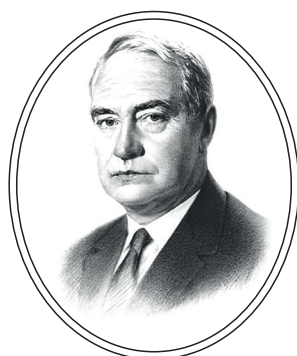
# СБОРНИК ТЕЗИСОВ



## ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ КАРГИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПОЛИМЕРЫ – 2024»

1-3 ИЮЛЯ 2024 ГОДА

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ  
СОЕДИНЕНИЯМ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА



**ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
КАРГИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ПОЛИМЕРЫ – 2024»**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

Москва, Россия  
1-3 июля 2024 года



## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

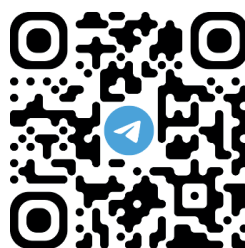
Хохлов А.Р. – председатель  
Кожунова Е.Ю. – ученый секретарь

Авдеев В.В.	Куличихин В.Г.
Алдошин С.М.	Кучин А.В.
Анаников В.П.	Максимов А.Л.
Берлин А.А.	Музафаров А.М.
Братская С.Ю.	Новаков И.А.
Бузник В.М.	Сергеев В.Г.
Гришин Д.Ф.	Федин В.П.
Карлов С.С.	Федюшкин И.Л.
Калмыков С.Н.	Чвалун С.Н.
Койфман О.И.	Черникова Е.В.
Комлев В.С.	Щипунов Ю.А.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Ярославов А.А. – председатель

Бадамшина Э.Р.	Пономаренко С.А.
Галлямов М.О.	Потемкин И.И.
Заремский М.Ю.	Серенко О.А.
Зезин А.А.	Трофимчук Е.С.
Люлин С.В.	Якиманский А.В.
Озерин А.Н.	



ISBN 978-5-6052004-1-3



9 785605 200413 >

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПАРТНЕРСТВЕ  
И ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

**СИБУР**  
ПОЛИЛАБ



**ИТЕКМА**

**ИНФРА·М**

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ХОЛДИНГ

ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ПОДДЕРЖКЕ



**mesol**

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ  
ОПЕРАТОР КОНГРЕССОВ

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ</b>	<b>5</b>
<b>СЕКЦИЯ А</b>	
<b>ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>	<b>18</b>
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	19
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	51
ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ	63
<b>СЕКЦИЯ Б</b>	
<b>ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ</b>	<b>70</b>
ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ	71
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	92
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	112
ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ	195
<b>СЕКЦИЯ В</b>	
<b>ПОЛИМЕРНЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	<b>231</b>
ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ	232
УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ	247
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	273
ЗАОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ	471



An aerial photograph of the main building of Moscow State University, featuring its iconic spire topped with a golden orb. The building is set against a dramatic sunset sky with orange and yellow clouds. In the foreground, there are green lawns, a paved road with some traffic, and other university buildings. The overall scene is bathed in the warm light of the setting sun.

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 678.6+691.175

**ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИД: ОТ СИНТЕЗА МОНОМЕРА ДО ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Антипин И.С.<sup>1</sup>, Ахмадуллин Р.М.<sup>2</sup>, Фарахов М.И.<sup>3</sup>, Балькаев Д.А.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Казанский федеральный университет, Казань, 420008, Кремлевская, 18<sup>2</sup> ООО «НТЦ «Ахмадуллины», Казань, 420029, Сибирский Тракт, 34, корпус 10<sup>3</sup> ООО ИВЦ «Инжехим», Казань, 420049, ул. Шаляпина, 14

E-mail: iantipin54@yandex.ru

Полифениленсульфид (ПФС) — полукристаллический термопласт широко используемый в промышленности особенно при изготовлении термоустойчивых изделий, работающих при высоких нагрузках и контактирующих с агрессивными средами. Объем мирового рынка полифениленсульфида составил \$1.41 млрд. в 2022 году и прогнозируется \$2,77 млрд. в 2030 году, а среднегодовой темп роста - 8,8% [1].

В Казанском федеральном университете в кооперации с промышленными партнерами ИВЦ «Инжехим» и НТЦ «Ахмадуллины» впервые в России разработана некаталитическая [2] и каталитическая технологии получения полифениленсульфида с различной вязкостью расплава в условиях жидкофазной поликонденсации, а также мономера для его производства – пара-дихлорбензола [3]. Сравнение характеристик отечественного ПФС и зарубежных аналогов проведено в работе [4].

В лаборатории «Синтетические полимерные материалы и композиты» Казанского федерального университета разработаны новые термостабильные сшивающие реагенты, пластификаторы, апреты (замасливатели) для стекло- и углеволокна, позволяющие осуществлять выпуск широко спектра материалов для литьевой, экструзионной и аддитивной технологий с применением полифениленсульфида: филамента, адгезивов, пленки, а также препрегов и тоупрегов. Создана испытательная база и опытно-промышленная линия по экструзии филамента и пленки (до 40 см шириной) из полимерных материалов и композитов с температурой переработки до 450°C и производительностью 10 кг/час.

**Ссылки**

[1] Report. Polyphenylene Sulfide Market // Dublin (Ireland): Research and Markets, 2023. – 200P. <https://www.researchandmarkets.com/report/polyphenylene-sulfide#rela2-5889813>

[2] Ахмадуллин Р.М. Разработка технологии получения полифениленсульфида / Р.М. Ахмадуллин, С.А. Ирдинкин, В.Ф. Шкодич, А.В. Раков, М.М. Фарахов, И.Н. Сайфуллин, А.Г. Ахмадуллина, И.С. Антипин // Журнал прикладной химии. - 2022. Т. 95, № 7 – С.885-893.

[3] Ахмадуллин Р.М. Получение пара-дихлорбензола хлорированием хлорбензола на гетерогенном катализаторе цеолит NaY/ Р.М. Ахмадуллин, А.В. Раков, Л.И. Мусин, С.А. Ирдинкин, И.Н. Литвинова, И.С. Антипин, А.Г. Ахмадуллина // Журнал прикладной химии. - 2022. Т. 95, № 9. - С.1162-1168.

[4] Битт В.В. Сравнительный анализ полифениленсульфидов отечественного и зарубежного производства / В.В. Битт, Е.В. Калугина, Ю.Г. Паршиков, А.В. Саморядов // Пластические массы. – 2022. №11-12. – С.13-16.



УДК 541.64

**ОРГАНИЧЕСКИЙ ФОТОРЕДОКС КАТАЛИЗ И ПРИНЦИПЫ «ЗЕЛЁНОЙ»  
ХИМИИ В КОНТРОЛИРУЕМОМ СИНТЕЗЕ ПОЛИМЕРОВ****Гришин Д.Ф., Ваганова Л.Б., Лизякина О.С., Гришин И.Д.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
E-mail: grishin@ichem.unn.ru*

Радикальная полимеризация с обратимой дезактивацией растущей полимерной цепи или контролируемая радикальная полимеризация (КРП) фактически привела к революции в синтетической химии полимеров. В настоящее время эта методология синтеза высокомолекулярных соединений наиболее часто используется для получения полимерных материалов с контролируемой архитектурой, составом и функциональностью. Фактически в результате применения новых подходов радикальная полимеризация вышла за рамки традиционной области полимерного синтеза. С её помощью можно получать не только органические высокомолекулярные соединения, но и органо-неорганические гибриды, биоконъюгаты, а также перспективные полимеры для электроники, энергетики, медицины и других высокотехнологичных областей экономики. При этом исключительно важно, что ряд методологий КРП имеют четко выраженную экологическую составляющую, поскольку ориентированы на соблюдение важнейших принципов «зелёной» химии и развитие природоподобных технологий в направленном синтезе полимеров с четко заданными характеристиками.

В обзорном докладе обобщены и проанализированы активно развиваемые в последние годы оригинальные методы проведения контролируемой радикальной полимеризации с переносом атома в условиях как металлокомплексного катализа (Atom Transfer Radical Polymerization – ATRP), так и фотоинициирования с использованием органических катализаторов (Metal Free ATRP). Показано, что органический фоторедокс катализ может быть эффективно применен для направленного синтеза гомо- и сополимеров с узким молекулярно-массовым распределением, а также блок-сополимеров и широкого спектра макромолекулярных структур различного строения.

Рассмотрены конкретные примеры и оценены перспективы практического применения методов контролируемой радикальной полимеризации в сочетании с принципами «зелёной» химии для синтеза промышленно значимых и высокотехнологичных функциональных полимеров. Проведен сравнительный анализ эффективности классических методов проведения радикальной полимеризации широкого круга мономеров в режиме «живых» цепей (обратимого ингибирования, обратимой передачи цепи, а также переноса атома) и концепции органического фоторедокс катализа в плане направленного синтеза полимеров с заданным комплексом свойств и характеристик.

**Благодарность.**

Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду за финансовую поддержку проводимых исследований (проект № 23-23-00130).

УДК 541.64

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»****Дуб А.В.***АО «Наука и инновации», г. Москва, пер. Старомонетный, д. 26**E-mail: AlVDub@rosatom.ru*

В значительной степени цикл разработки изделий с новыми уникальными свойствами обеспечивается разработкой и применением полимерных композиционных материалов (ПКМ). В рамках выполнения Единого отраслевого тематического плана Госкорпорации «Росатом» и федерального проекта «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года» реализовано более 20 проектов на тему ПКМ для применения в различных отраслях промышленности по направлениям:

- 1. Разработки технологий и оборудования для изготовления материалов для ПКМ:** получены технологии производства термопластичных лент, пьезокерамических плёнок и термоинтерфейсов для микроэлектроники, ряда марок углеродного волокна (УВ), термопластичных тканых препрегов и филаментов (для аддитивного производства) из непрерывного УВ на основе для авиастроения.
- 2. Разработки технологий изготовления изделий из ПКМ:** получены технология роботизированной послойной выкладки (намотки) с наплавлением, технологии изготовления препрегов и плит СВМПЭ для средств индивидуальной бронезащиты, разработаны оборудование (3D-принтеры) и технологии изготовления изделий из ПКМ методами аддитивных технологий.
- 3. Разработки стандартов организаций и технологий контроля характеристик ПКМ:** получены 8 Стандартов организаций (СТО) и методик УЗ-контроля консолидированных термопластичных панелей.
- 4. Математического моделирования ПКМ,** в результате которого проведены расчёты характеристик ПКМ изготовленных методами аддитивного производства и послойной выкладки (намотки) с наплавлением, разработаны математические модели высоконагруженных и сложно-нагруженных изделий из ПКМ, проведено проектирование крупногабаритных судов с применением ПКМ.

Для задач Госкорпорации «Росатом» актуальны суперконструкционные полимеры (полиэфирсульфоны, полиэфимида, полиамиды, полиэфиркетоны, полифениленсульфиды) и «смарт» полимеры с эффектом памяти формы, обеспечивающие характеристики в диапазоне температур от -50 до +50°C.

В разработках приняло участие более 20 научных организаций, включая: МГУ, ИМАШ РАН, ИНХС РАН, ИПМех РАН, ФИЦ ХФ РАН, АО «НИИГрафит», АО «Юматекс», АО «НИИП», ГНЦ РФ «ГНИИХТЭОС», АО «Композит», НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, МГТУ Баумана, НИТУ МГСУ, СПбПУ, КБГУ, КНИТУ-КАИ.



УДК 544.23.022

## ЩЕТОЧНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ КАК НОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БИМЕДИЦИНЫ

**Иванов Д.А.**<sup>1,2,3</sup>, **Никитина Е.А.**<sup>2,3</sup>, **Маряшевская А.В.**<sup>1,2</sup>, **Агеев Г.Г.**<sup>2</sup>,  
**Коняхина А.Ю.**<sup>2</sup>, **Субчева Е.Н.**<sup>2</sup>, **Умаров А.З.**<sup>1</sup>, **Шейко С.С.**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д.1, корп.40

<sup>2</sup> НТУ Сириус, Сочи, Краснодарский край, Олимпийский просп., д.1

<sup>3</sup> ФИЦ ПХФ и МХ, Черноголовка, проспект акад. Семенова, д.1

<sup>4</sup> University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, United States

E-mail: dimitri.ivanov.2014@gmail.com

Щеточные полимеры и сополимеры обладают молекулярными архитектурами, в которых помимо основной полимерной цепи присутствуют плотно привитые боковые цепи. В этом случае стерическое отталкивание боковых цепей приводит, с одной стороны, к увеличению жесткости основной полимерной цепи и, соответственно, к уменьшению плотности сетки физических зацеплений. С другой стороны, отталкивание боковых цепей вызывает растяжение щеточного блока, что придает данным системам свойство существенного деформационного упрочнения. Эти свойства являются необходимыми при создании адаптивных биомиметических имплантов [1]. В докладе будут представлены результаты структурных и механических испытаний щеточных линейных и графт-сополимеров, позволяющие определить механизмы деформации [2]. Будет также показано как с помощью изменения структуры возможно варьировать на 4 порядка работу адгезии [3]. В заключение, будут рассмотрены фазовые превращения в системах с кристаллизующимися боковыми цепями [4].

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-30005, <https://rscf.ru/project/23-73-30005/>.

### Ссылки

- [1] Vatankeh-Varnosfaderani, M. Chameleon-like elastomers with molecularly encoded strain-adaptive stiffening and coloration / M. Vatankeh-Varnosfaderani, A. N. Keith, Y. Cong, H. Liang, M. Rosenthal, M. Sztucki, C. Clair, S. Magonov, D. A. Ivanov, A. V. Dobrynin, S. S. Sheiko // *Science* – 2018. Vol. 359. – P. 1509–1513.
- [2]. Dobrynin, A. V. Forensics of Polymer Networks / A. V. Dobrynin, Y. Tian, M. Jacobs, E. A. Nikitina, D. A. Ivanov, M. Maw, F. Vashahi, S. S. Sheiko // *Nature Materials* – 2023. Vol. 22. – P. 1394–1400.
- [3]. Maw, M. Sticky Architecture: Encoding Pressure Sensitive Adhesion in Polymer Networks / M. Maw, E. Dashtimoghadam, A. N. Keith, B.J. Morgan, A. K. Tanas, E. Nikitina, D. A. Ivanov, M. Vatankeh-Varnosfaderani, A. V. Dobrynin, S. S. Sheiko // *ACS Central Science* – 2023. Vol. 9, № 2. – P. 197-205.
- [4]. Bersenev, E.A. Bottlebrush Elastomers with Crystallizable Side Chains: Monitoring Configuration of Polymer Backbones in the Amorphous Regions during Crystallization / E.A. Bersenev, Evgeniia A. Nikitina, Sergei S. Sheiko, Dimitri A. Ivanov // *ACS Macro Letters* – 2022. Vol. 11, № 9. – P. 1085–1090.

УДК 338.12.017

**РЕАЛИИ ОТРАСЛИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ  
ПОЛИМЕРОВ В РФ - ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»****Кацевман М.Л.***Союз Переработчиков Пластмасс, г. Москва, Бережковская наб.20.  
katsevman@polyplastic.ru*

Полимерные материалы и изделия из них бурно развиваются во всем мире и в РФ. Уникальные свойства полимеров и композитов на их основе позволяют называть технологию их переработки сквозной, то есть, определяющей инновационное развитие практически всех без исключения отраслей промышленности, и не только, а даже медицину и само здоровье человека.

Вместе с тем, сегодня это вид материалов переживает достаточно сложный этап своего развития. Достигнув уровня потребления в мире 400 млн.т., при котором до ~ 350 млн т., так или иначе, ежегодно превращается в «полимерный мусор», создавая угрозу экологии планеты и мирового океана. Сегодня дальнейший успех развития полимеров, как материалов 21 века, тормозится не способностью административных органов, практически, всех стран организовать на должном уровне утилизацию разовых изделий, таких, как посуда и упаковка. Поэтому приходится наблюдать запреты на развитие полимерной индустрии, то есть запреты на повышение технологичности производств комфорта наших жилищ и повседневной жизни. Анализ статистики утилизации полимерных отходов в мире и в нашей стране дает пищу для инициатив на путях решения данной проблемы. Ситуация осложняется тем, что отсутствие профессиональной подготовки у специалистов в рабочих комитетах при различных международных организациях вынесло на повестку дня псевдо проблему «микропластика», как угрозу здоровью человека, проблему, не подкреплённую никакими научными исследованиями или практическими экспериментами.

Ситуация в развитии промышленности полимеров РФ имеет свою специфику, когда построенные за последние 30 лет заводы по производству полимеров в большинстве своем созданы по лицензиям западных компаний, с определенными ограничениями по развитию марочного ассортимента без соответствующих компетенций. Оборудование для переработки пластмасс, то есть производства изделий также почти на 100% импортное. Отсутствует индустрия малых добавок, включая каталитические системы, и все это на фоне беспрецедентного давления со стороны не дружественных стран в виде санкций.

Тем не менее полимерная промышленность РФ успешно развивается, достигнув практически 7,0 млн. т потребления, стоит задача до 2030 г расширить объем производства и переработки до 9,0 млн т. ускорение и инновационного развития вносит с свои особенности в пути решения проблем полимерной индустрии РФ, преодоления вызовов и угроз, созданию технологического суверенитета и даже технологического лидерства. Анализ объемов действующих производств по отделанным видам полимерных материалов и компаундам на их основе, позволяет четко планировать на ближайшие годы увеличение объемов переработки пластмасс, расширение марочного ассортимента, создания собственных производств по тем продуктам, которые сегодня закупаются по импорту.



УДК 631.453

## ПОЛИМЕРЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ

**Красильников П.В.**

*Факультет почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,  
г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12  
E-mail: krasilnikov@soil.msu.ru*

В настоящее время продовольственные системы, в особенности индустриальные, невозможно представить без применения полимеров. В первую очередь полимеры используются при упаковке продуктов питания для их хранения, транспортировки и продажи. Собственно, эти упаковки и являются важнейшим источником загрязнения пластиком окружающей среды. Однако при собственно сельскохозяйственном производстве широко используются полимерные материалы. Если отвлечься от очевидного использования полимеров в конструкции машин и механизмов, используемых в сельском хозяйстве [1], самым известным и широко распространённым использованием полиэтилена является изготовление конструкций для поддержания микроклимата, благоприятного для растений, то есть теплиц и парников, и для мульчирования пашни [2]. Также очевидным является применение полимера при устройстве ирригационных сооружений [1]. В последние годы активно используются полимеры в качестве кондиционеров физических свойств почв [3], в том числе для удержания влаги [4]. Между тем в последние десятилетия функционализированные полимеры произвели революцию в сельскохозяйственной и пищевой промышленности, создав новые инструменты для быстрого выявления и молекулярного лечения болезней растений, регулирования прорастания семян [5] и поступления удобрений, повышения способности растений усваивать питательные вещества и т.д. [2].

### **Благодарность**

Доклад подготовлен на материалах, полученных в ходе выполнения проекта «Разработка и применение инновационных почвенных мелиорантов для повышения продуктивности и предотвращения деградации аридных земель», поддержанного Министерством науки и высшего образования РФ, Соглашение о предоставлении субсидии от 07.10.2022 г. № 075-15-2022-1212.

### **Ссылки**

- [1] Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture // *Rapra Review Reports*. – 2004. – Vol. 15. № 2. – 92 p.
- [2] Puoci, F. Polymer in agriculture: a review / Puoci, F., Iemma, F., Spizzirri, U. G., Cirillo, G., Curcio, M., Picci, N. // *Am. J. Agric. Biol. Sci.* – 2008. Vol. 3, № 1. – P. 299-314.
- [3] Panova, I.G. Interpolyelectrolyte complexes as effective structure-forming agents for Chernozem soil / Panova, I. G., Demidov, V. V., Shulga, P. S., Plyasov, L. O., Butilkina, M. A., Yaroslavov, A. A. // *Land Degradation & Development*. – 2021. Vol. 32, № 2. – P. 1022-1033.
- [4] Behera, S., Mahanwar, P.A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review // *Polymer-Plastics Technology and Materials*. – 2020. Vol. 59, № 4. – P. 341-356.
- [5] Тертышная Ю.В., Скороходова А.Н. Полимерные субстраты для высева семян сельскохозяйственных культур // *Вестник аграрной науки*. – 2022. № 1. – С. 32-37.

УДК 544.169

## ПРОБЛЕМА МИКРОПЛАСТИКА В НАУКЕ О ПОЛИМЕРАХ

**Люлин С.В.**<sup>1,2,3</sup>, **Kenny J.M.**<sup>1,4</sup> и **Гуртовенко А.А.**<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород, ул. Б. Санкт-Петербургская 41

<sup>2</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой пр. В.О. 31

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7

<sup>4</sup> Европейский центр наноструктурированных полимеров, Италия, Терни, Loc. Pentima Bassa, 21  
E-mail: sergey.v.lyulin@gmail.com

Легко заметные на поверхности земли, пластмассы составляют около 15% твердых бытовых отходов. Крошечные, почти невидимые кусочки пластика менее 5 мм (микропластик), также вызывают все большую озабоченность, поскольку могут быть опасны как раз из-за своего малого размера. Эта проблема привлекает значительное внимание общественности на международном уровне. Резолюцией ЮНЕП 5/14 от 2 марта 2022 г. учрежден межправительственный переговорный комитет (МПК) для разработки международного юридически обязательного документа по пластиковому загрязнению. Уже на третьей сессии МПК в Найроби, которая состоялась в ноябре 2023 г, становится ясным, что в обсуждении пластикового практически не участвуют эксперты в области науки о полимерах, а в официальных документах часто игнорируется специфическая для полимеров терминология. Более того, термины «пластик» и «микропластик» до сих пор не имеют определений, принятых в химическом сообществе.

Предлагаемые специалистами по охране окружающей среды меры по борьбе с пластиковым загрязнением содержат важные инициативы, однако, в качестве основы выдвигается необходимость сокращения производства полимеров, что противоречит модельным расчетам, показывающим, что загрязнение от существующих полимерных отходов превышает загрязнение от вновь выпускаемых полимеров. Экологические последствия замены синтетических полимеров на другие материалы, такие как целлюлоза, также плохо изучены. Поэтому вместо сокращения производства полимеров существенные усилия должны быть направлены на разработку междисциплинарных научных стратегий по переработке полимеров, правильного химического дизайна полимеров и пластмассовых изделий, а также ответственного государственного регулирования. Развитие этих направлений невозможно без выяснения реальной опасности микропластика в зависимости от его размеров, типа полимера, условий внешней среды и т.п.

**Благодарность.**

Исследования поддержаны Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение 075-15-2024-629, Мегагрант).

УДК

## КРИТЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>, Щербина М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИСПМ РАН, Москва

<sup>2</sup> ИНЭОС РАН, Москва

E-mail: aziz@ispm.ru

Научный совет по ВМС ОХНМ РАН после обсуждения проблемы утилизации полимерных отходов в рамках проекта «Полимеры будущего», опубликовав несколько обобщений по этой важной теме [1,2], показал, что у полимеров нет уверенного будущего без решения этой назревшей проблемы. Было принято решение о создании специальной комиссии по выработке национальной концепции по утилизации полимерного мусора. В состав комиссии вошли члены совета, а также приглашенные специалисты из различных научных и производственных организаций, имеющих непосредственное отношение к полимерным материалам.

Различные страны и объединения проповедают радикально отличающиеся подходы к решению проблемы полимерного мусора, ориентируясь в основном на природные условия и уровень технического развития. Предлагаемая концепция исходит из того, что производство полимеров являются самой эффективной альтернативой сжиганию ископаемого топлива, не увеличивающей углеродный след и не приводящей к загрязнению планеты. Не отвергая ни один из уже существующих подходов к утилизации полимерных отходов, она предлагает учитывать экономические и экологические аспекты и, в этой связи, использовать три основных критерия при выработке стратегий переработки отходов в государственном и глобальном масштабах: экологичность, экономичность, долговечность. Концепция построена на природоподобных методах и подходах и подразумевает создание безопасных и экономически перспективных форм захоронения полимерных отходов в мировом океане для создания искусственных островов.

Реализация концепции предполагает широкое международное, междисциплинарное сотрудничество в рамках содружества государств БРИКС с последующим переходом на глобальный уровень. Реализацию концепции предполагается начать с очистки мирового океана с последующим распространением ее элементов повсеместно.

[1] Arzhakova, O.V.; Arzhakov, M.S.; Badamshina, E.R.; et al. *Polymers for the Future*. Russ. Chem. Rev. 2022, 91, doi:10.57634/RCR5062.

[2] Ярославов, А.А.; Аржаков, М.С.; Хохлов, А.Р. Жизненный цикл полимерного материала: проблемы и перспективы. Вестник Российской академии наук 2022, 92, 15–22, doi:10.31857/S086958732201011X.

### Благодарность.

Выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FFSM- 2024-0001)

УДК 541(64+182):684.82

## ПРИВИТЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА

Навроцкий А.В., Новаков И.А.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28  
E-mail: a-navrotskiy@yandex.ru*

В докладе представляется одно из приоритетных направлений химии высокомолекулярных соединений, связанное с использованием полимеров для управления лиофильными свойствами поверхностей, а также для эффективного регулирования устойчивости дисперсных систем. Эти исследования связаны с управляемым синтезом полимерных цепей, химически связанных с поверхностью металлов или их оксидов.

Представлены результаты изучения особенностей синтеза привитых полимеров на основе метакриловых мономеров, содержащих как гидрофобные, так гидрофильные и другие функциональные группы, на поверхности алюминия, оксидов металлов, хитозана и целлюлозосодержащих материалов. Обсуждаются способы управления лиофильными свойствами модифицированных поверхностей в широком диапазоне за счет варьирования химического строения привитых полимерных цепей и морфологии поверхностного слоя, а также методы управления биоразлагаемостью хитозановых материалов. Получены супергидрофильные и супергидрофобные покрытия, способные сохранять свои свойства при длительных контактах с водными средами и органическими растворителями. Разработаны методы управления избирательной сорбцией и биоразлагаемостью хитозановых материалов за счет поверхностной модификации. Предложены подходы для синтеза полимеров и привитых полимерных покрытий, которые могут рассматриваться как перспективные объекты для получения полимерных химических источников тока.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 23-73-00094



УДК:

## ВНЕ ТРАДИЦИОННОЙ ПАРАДИГМЫ РАДИАЛЬНОГО (НОРМАЛЬНОГО) РАСТЯЖЕНИЯ ПРИВИТЫХ ЦЕПЕЙ

Кравченко В.С., Портнов И.В., Потёмкин И.И.

*Кафедра физики полимеров и кристаллов, физический факультет МГУ  
имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы д. 1 кор. 2, Москва 119991.  
E-mail: igor@polly.phys.msu.ru*

До сих пор считалось, что в плотнопривитых полимерных щетках, сформированных на плоских или искривленных поверхностях, цепи вытягиваются вдоль нормали к поверхности, если они набухают в растворителе и их сегменты несовместимы с поверхностью/подложкой. Однако, практически никогда не изучался эффект взаимодействия подложки с растворителем (например, гидрофобная или гидрофильная подложка).

В данной работе были изучены конформации одиночной цепи, пришитой к твердой поверхности, цепей в плоской (планарной) щетке, а также цепей в короне мицелл диблок-сополимеров с использованием диссипативной динамики частиц (ДДЧ) [1]. Поскольку ДДЧ явным образом учитывает растворитель, то в таком подходе учитываются взаимодействия всех составляющих систем. Помимо традиционно изучаемого режима удлинения полимерных цепей, нами были найдены условия частичной или полной адсорбции плотнопривитых цепей. Такой режим реализуется в случае сильной гидро(солво)фобности поверхности, когда молекулы подложки сильно несовместимы с молекулами растворителя. В случае мицелл диблок-сополимеров этот режим реализуется для сильно селективного растворителя (ядро мицеллы сильно несовместимо с растворителем). Физическая причина адсорбции мономерных звеньев цепей - экранирование неблагоприятных контактов «подложка(ядро)-растворитель». В случае мицелл диблок-сополимеров, когда ядро мицеллы всегда несовместимо с растворителем, эффект адсорбции играет исключительно важную роль и может вызвать переход между различными морфологиями мицелл. Традиционные теории не в состоянии предсказать подобные переходы и их необходимо пересмотреть, особенно для случая так называемых «стриженных» мицелл, когда блоки короны существенно короче блоков, формирующих ядро.

### **Благодарность.**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-43-04417. Моделирование проводилось на суперкомпьютере «Ломоносов» (МГУ).

### **Ссылки**

[1] V. S. Kravchenko, I. V. Portnov, I. I. Potemkin. *Macromolecules* **2023**, 56, 7626–7635.

## ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛАНЕТЫ ПОЛИМЕРНЫМИ ОТХОДАМИ И НАУКА О ПОЛИМЕРАХ

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 позволят 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 мембраны 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 сосуществуют многие миллионы лет.

УДК 577.1

## СИНТЕТИЧЕСКИЕ ИЛИ ПРИРОДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ? ЗА И ПРОТИВ

Чвалун С.Н.

<sup>1</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, ул. Профсоюзная, 70/2*

<sup>2</sup> *НИЦ «Курчатовский институт», Москва, пл. Академика Курчатова, 1  
E-mail: s-chvalun@yandex.ru*

Развитие современных медицинских технологий требует разработки широкого ассортимента биосовместимых биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов различной морфологии, с регулируемыми физико-механическими характеристиками и заранее заданными сроками деградации. Функциональные материалы нового поколения для медицины должны обладать биоактивными свойствами, содержать различные терапевтические агенты, запрограммированным образом реагировать на внешние стимулы и др. Применение таких материалов позволяет повысить эффективность лечения пациентов, а также сократить срок терапии за счет отказа от повторной операции для удаления изделия. Для развития персонализированной медицины важно создать материалы для аддитивных технологий (3D-печати и биопечати).

В последнее время биосовместимые и биodeградируемые полимеры активно применяются в регенеративной медицине для изготовления скаффолдов – конструкций, поддерживающих клетки при выращивании биоискусственных органов и тканей, в том числе костей. При этом используются как природные, так и синтетические полимеры. В качестве синтетических полимеров обычно используют биodeградируемые полиэфиры (полиактид, поликапролактон, полигликолид и их сополимеры), полиамиды, полиуретан. Каркасы на основе синтетических полимеров обладают высокими механическими свойствами, регулируемым временем деградации, но нередко недостаточной биосовместимостью. Напротив, каркасы на основе природных полимеров характеризуются отличной биосовместимостью, улучшающей адгезию и пролиферацию клеток, как правило, высокой скоростью деградации и механическими характеристиками соответствующими живым тканям. Более того, фибриллярные белки: фиброин шелка и коллаген используются для изготовления хирургических нитей, раневых повязок, костной пластики, восстановления сосудов, кожи, в работах по регенерации нервной, мышечной и легочной ткани. Однако и их использование сталкивается с рядом серьезных проблем, невоспроизводимыми свойствами, разрушением вторичной структуры, специфической реакцией организма и пр..

В докладе будут рассмотрены разработанные методы получения биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов, а также будут представлены созданные на их основе медицинские изделия: резорбируемые хирургические нити, винты и штифты для ортопедии, покрытия на раны и ожоги, подавляющие образование рубцов и шрамов, гемостатирующие губки и тампоны, средства для адресной доставки лекарств, тканеинженерные конструкции для коррекции и восстановления различных органов и тканей при разнообразных заболеваниях и травмах.



An aerial photograph of the main building of Moscow State University, featuring its iconic spire topped with a golden orb. The building is set against a dramatic sunset sky with orange and yellow hues. Other university buildings and a city street are visible in the foreground and background.

**СЕКЦИЯ А**

**ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ  
ПОЛИМЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**



УДК 548.31

## МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И КОНФОРМАЦИИ МОЛЕКУЛ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕЙ В КРИСТАЛЛАХ БЕЛКОВ И ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Гринева О.В.**

*Химический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3  
E-mail: ovg@phys.chem.msu.ru*

Полиэтиленгликоли (ПЭГ) с различными молекулярными массами имеют широкое и весьма разнообразное применение, при этом низкая токсичность этих соединений позволяет активно использовать их в медицине, фармацевтике и косметической промышленности. ПЭГ являются соединениями, наиболее часто добавляемыми при кристаллизации белков. По данным [1] 69% кристаллов, представленных в Банке белковых структур (PDB), содержат как минимум один вариант ПЭГ (максимальное количество разных ПЭГ в одном кристалле достигает пяти). Однако проведенный в данной работе анализ показывает (см. Таблицу), что к настоящему моменту доля исследований, выполненных с разрешением, позволяющим делать надежные выводы о строении молекул и межмолекулярных контактах, не превышает 20%.

Таблица. Общее число записей ( $N$ ) в PDB, содержащих низкомолекулярные ПЭГ  $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$  ( $M$  – молекулярная масса), и число исследований с разрешением  $<1.5 \text{ \AA}$  ( $N_{1.5}$ ) (по состоянию на 15.03.2024)

$n$	$M$	$N$	$N_{1.5}$	$n$	$M$	$N$	$N_{1.5}$	$n$	$M$	$N$	$N_{1.5}$
1	62	15054	2409	6	282	495	75	12	547	90	4
2	106	4971	652	7	326	113	10	13	591	5	1
3	150	1975	253	8	370	80	3	14	638	48	4
4	194	1944	250	9	414	159	9	20	899	3	0
5	238	1027	105	10	458	27	1				

В настоящей работе на основе данных PDB с хорошим разрешением изучены конформации молекул ПЭГ в кристаллах белков и межмолекулярные взаимодействия с их участием. ПЭГ с невысокими молекулярными массами хорошо растворимы в воде, и большая часть практического применения этих соединений связана с использованием водных растворов. Поэтому также выполнены собственные квантовохимические расчеты для нескольких водных кластеров ПЭГ и молекулярно-динамическое моделирование нескольких водных систем в полноатомном приближении. Полученные результаты сопоставлены с литературными данными.

### Ссылки

[1] Lynch M.L., Dudek M.D, Bowman S.E.J. A Searchable Database of Crystallization Cocktails in the PDB: Analyzing the Chemical Condition Space // Patterns. – 2020. – Vol. 1, № 4. – 100024.

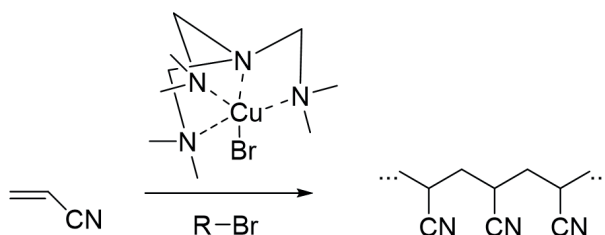
УДК 541.64

## КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ В КОНТРОЛИРУЕМОМ СИНТЕЗЕ ГОМО- И СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА

**Гришин И.Д., Зайцева Ю.А., Гуляева О.С.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, 23  
E-mail: grishin\_i@ichem.unn.ru*

Гомо- и сополимеры акрилонитрила представляют интерес в качестве исходного сырья для получения широкого спектра ценных материалов, таких как текстильные и углеродные волокна, мембраны, адсорбенты и различные пластики. С учетом того, что физико-механические свойства полимерных материалов определяются их молекулярно-массовыми характеристиками, разработка эффективных подходов к синтезу узкодисперсных полимеров акрилонитрила является важной и актуальной задачей. В данной работе предложены новые синтетические подходы к получению полимеров акрилонитрила в условиях контролируемой полимеризации с переносом атома по механизму ARGET ATRP с использованием каталитических систем на основе бромидов меди (II) и полидентантных азотсодержащих лигандов (TPMA, Me<sub>6</sub>TREN, PMDETA).



Показано, что предложенные системы могут быть успешно использованы для получения узкодисперсных образцов полиакрилонитрила с заданными значениями молекулярной массы. Предложено использовать в качестве восстанавливающих агентов, регенерирующих катализатор, соли гидроксикислот: тартрат, лактат, гликолят, оксалат натрия. Восстанавливающая способность указанных соединений по отношению к комплексам меди была подтверждена методом электронной спектроскопии. Показано, что скорость контролируемой радикальной полимеризации акрилонитрила может быть увеличена за счет одновременного введения в систему двух медьсодержащих катализаторов. Установлено, что постепенное дозирование восстанавливающего агента в систему позволяет подавить эффект затухания полимеризации на высоких степенях превращения, приводя к образованию высокомолекулярных полимеров. С использованием полученных систем проведена сополимеризация акрилонитрила с метилакрилатом, диметилитаконатом, стиролом и рядом других мономеров.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 23-23-00087).

УДК 547, 54-4, 54.02, 544.2

## НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ БИОПОДОБНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

**Джу́жа А.Ю.<sup>1,2</sup>, Левит М.Л.<sup>2</sup>, Захарова Н.В.<sup>2</sup>, Добродумов А.В.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, 198504, г. Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский проспект, д. 26.*

<sup>2</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, 199004, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31  
polinadzhuzha@mail.ru*

В настоящее время система для доставки лекарственного вещества, способствующая снижению его общей системной токсичности, повышению биодоступности и пролонгированной доставке, является составной частью эффективного лекарственного препарата. Разработка систем для комбинированной доставки лекарств, позволяющих сочетать различные по природе и спектру действия вещества, является актуальной задачей, поскольку растёт круг потенциально применимых лекарственных веществ, а также разрабатываются новые подходы лечения различных заболеваний.

Рассмотрение полимеров в качестве потенциальных носителей лекарственных веществ открывает широкие перспективы для конструирования систем с заданными физико-химическими свойствами. Так, амфифильная структура полимеров обуславливает их способность к самоорганизации в водных средах и инкапсулированию лекарственных веществ различной природы, комбинация в составе полимера биodeградируемых и недеградируемых фрагментов позволяет реализовать стратегии пролонгированного высвобождения лекарственного вещества, а включение сахаридных звеньев повышает стабильность формирующихся частиц в среде организма и их сродство к клеточным мембранам.

С целью получения систем доставки лекарств были синтезированы (co)полимеры на основе поли( $\alpha$ ,L-глутаминовой кислоты) и поли( $\alpha$ ,L-лизина), модифицированных остатками различных гидрофобных и основных аминокислот и D-глюкозамином, а так же привитые (co)полимеры с основной цепью на основе 2-деокси-2-метакриламидо-D-глюкозы и 2-гидроксиэтилметакрилата, и поли(лизин) в боковой цепи. Определены молекулярно-массовые характеристики и составы синтезированных сополимеров сформированы наночастицы и их комплексы с амфифильными, гидрофобными и заряженными лекарственными субстанциями, а также изучены физико-химические характеристики и биологические свойства исходных наночастиц и прототипов лекарственных форм.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №21-73-20104) и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ (РЦ Методы анализа состава вещества, Развитие молекулярных и клеточных технологий и Магнитно-резонансные методы исследования).



УДК 541.64:532.72

## БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ $\text{TiO}_2$ . ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

**Думина И.С., Сундарева Ю.А., Фукина Д.Г., Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
E-mail: ev2367@gmail.com*

Ненадлежащий сбор и хранение отработанных полимерных изделий приводит к образованию огромного количества отходов (~ 400 млн. т. к 2024 году). Они под действием факторов окружающей среды превращаются в микро- и нанопластик, которые несут угрозу для здоровья человека. В связи с этим для изготовления упаковки различного назначения внимание исследователей и производителей привлекают природные биоразлагаемые материалы. Масштабные исследования проводятся в направлении хитозана (ХТЗ), благодаря его пленкообразующей способности, а также присущим ему антибактериальным и противогрибковым свойствам. Однако механические свойства ХТЗ являются неудовлетворительными для применения в пищевой упаковке, а антимикробная и противогрибковая активность его пленок существенно зависят от степени деацетилирования. Цель работы - получение биоразлагаемых материалов с высокими прочностными и антибактериальными характеристиками модификацией ХТЗ диоксидом титана. Выбор последнего обусловлен высокой фотокаталитической активностью и способностью генерировать активные формы кислорода. Наночастицы (НЧ)  $\text{TiO}_2$  получали золь-гель методом из  $\text{Ti}(\text{OR})_4$ , в условиях, позволяющих контролировать размер НЧ  $\text{TiO}_2$  от 3 до 50 нм. НЧ  $\text{TiO}_2$  вводили в водно-кислотный раствор ХТЗ, который выступал в качестве эффективного стабилизатора НЧ, с образованием устойчивой суспензии. Методом испарительного литья были получены пленки, содержащие от 0,5 до 10 масс.%  $\text{TiO}_2$ . Введение НЧ  $\text{TiO}_2$  в пленки ХТЗ приводило к существенному увеличению его прочности при разрыве, достигая 122,4 МПа при деформации 11,7 % при концентрации  $\text{TiO}_2$  до 3% против 56 МПа и 19,3 % для ХТЗ. Кроме того, НЧ  $\text{TiO}_2$  существенно снижали температуру стеклования композиционных материалов. Наблюдаемые эффекты связаны с изменением структуры композита по сравнению с чистым ХТЗ. Методом ИК-спектроскопии доказано взаимодействие НЧ  $\text{TiO}_2$  с  $\text{NH}_2$ - и  $\text{OH}$ - группами ХТЗ. Модификация ХТЗ НЧ  $\text{TiO}_2$  приводила к аморфизации пленок и формированию однородной структуры, что доказано методом СЭМ. При концентрациях  $\text{TiO}_2 > 3\%$  наблюдалось нарушение однородности структуры.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритеты-2030» на основании решения исполнительной дирекции ННГУ им. Н.И. Лобачевского (грант № Н-414-99\_2023-2024).

УДК 541.64

## РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КЕТЕНАЦЕТАЛЕЙ С РАСКРЫТИЕМ ЦИКЛА: НЕОБЫЧНАЯ КИНЕТИКА, НЕТРАДИЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ АКТОВ

**Заремский М.Ю., Алиев Э.Э., Пуханова Е.В., Голубева Е.Н., Зубанова Е.М.**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия  
E-mail: zaremski@mail.ru*

Настоящий доклад планируется как первое обобщение наших и литературных данных в области кинетики и механизма радикальной полимеризации кетенацеталей с раскрытием цикла. Несмотря на возросший интерес к этим процессам, обусловленный задачей получения легко разлагаемых полимеров, с точки зрения кинетики и механизма элементарных актов они практически не изучены.

В отличие от традиционной радикальной полимеризации виниловых соединений, полимеризация кетенацеталей характеризуется не автоускорением, а автоторможением по ходу реакции. Порядки скорости полимеризации по мономеру заметно выше 1. Значение энергии активации процесса также намного выше типичных для радикальной полимеризации. Наличие заместителя в цикле мономера принципиально меняет скорость и механизм полимеризации.

Инициирование полимеризации характеризуется низкой скоростью, которая определяется не столько скоростью распада инициатора, сколько скоростью присоединения первичных радикалов к мономеру.

Впервые методом спиновых ловушек с использованием спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) был изучен механизм роста цепи с раскрытием цикла на примере полимеризации 2-метилтен-1,3-диоксепана и 5,6-бензо-2-метилтен-1,3-диоксепана. Показано, что он состоит из трех стадий – раскрытия двойной связи с формированием циклического радикала, образования еще одного третичного радикала, природу которого установить пока не удалось, с заключительной стадией быстрого раскрытия цикла с образованием радикала роста  $\text{CH}_2$ . Математическое моделирование спектров ЭПР, зарегистрированных на разных этапах полимеризации при различных температурах позволило определить магнитно-резонансные параметры и доли образующихся в ходе полимеризации радикалов. Константы сверхтонкого расщепления в модельных радикалах, рассчитанные методами квантовой химии в рамках теории функционала плотности, совпадают с экспериментальными значениями, полученными в ходе моделирования спектров ЭПР.

Ограничение цепи происходит путём передачи цепи на мономер с очень большой константой передачи ( $C_m \approx 10^{-2}$ ), в результате чего формируется полимер с невысокой молекулярной массой  $10^3$ - $10^4$ .

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 23-23-00147)

УДК 544.47

## ВЛИЯНИЕ ПЬЕЗОФОТОТРОННОГО ЭФФЕКТА НА КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИД — ОКСИД ЖЕЛЕЗА (III)

Оруджев Ф.Ф., Кадиев М.В.

*Smart Materials Laboratory, Дагестанский государственный университет, г. Махачкала  
E-mail: ff.orudzhev@dgu.ru; k.mahmud@yandex.ru*

Методом электроспиннинга синтезирована [1] новая, пригодная для вторичной переработки, гибкая пленка на основе нановолокна поливинилиденфторида (ПВДФ) с иммобилизованными в неё наночастицами  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Состав, морфология и структура нановолоконных матов были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, спектроскопии комбинационного рассеяния, ИК-спектроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и дифференциальной сканирующей калориметрии.

Показан механизм межфазного ионно-дипольного электростатического взаимодействия, приводящего к самополяризации и кристаллизации структуры. Пьезофотокаталитическую активность оценивали по разложению метиленового синего (МС) под действием ультразвука и УФ-видимого излучения. Эффективность пьезокатализа и пьезофотокатализа составила 60,4% и 99,5% соответственно. С помощью экспериментов по улавливанию активных окислительно-восстановительных форм было установлено, что радикалы  $\cdot\text{OH}$  являются основным компонентом разложения МС. Предложено два различных механизма образования радикалов  $\cdot\text{OH}$  для пьезокатализа и пьезофотокатализа. Стабильность катализатора была показана после пяти последовательных циклов пьезофотокатализа.

Использование ПВДФ в виде нановолокон, синтезированных методом электроспиннинга, позволяет изначально получить преобладающую электроактивную фазу, при этом такие мембраны имеют высокую пористость и большую удельную поверхность. Иммобилизация наночастиц  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в нанопроволоках ПВДФ приводит к межфазному взаимодействию  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и диполей в ПВДФ, что способствует дополнительной кристаллизации и самополяризации ПВДФ в электроактивную  $\beta$ -фазу.

Сочетание пьезокатализа с фотокатализом позволило за счет использования двух типов энергии добиться более эффективного пространственного разделения и миграции фотогенерированных электронно-дырочных пар, генерируемых внутренним электрическим полем, что значительно улучшает каталитические свойства.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-73-10091).

### Ссылки

[1] Orudzhev, F. Ultrasound and water flow driven piezophototronic effect in self-polarized flexible  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  containing PVDF nanofibers film for enhanced catalytic oxidation / F. Orudzhev, S. Ramazanov и др. // Nano Energy. – 2021. – Vol. 90, Part B, 106586.

УДК: 66.017

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КРЫЛА САМОЛЕТА МС-21

**Кепман А.В., Бабкин А.В., Авдеев В.В.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, кафедра химической технологии и новых материалов, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 11.*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе углеродного волокна находят все большее применение при изготовлении серийных изделий авиакосмической техники. Автоматическая выкладка сухих углеродных лент с последующим инъекционным или инфузионным формованием является одной из самых современных и активно развивающихся безавтоклавных технологий, позволяющей снизить себестоимость серийно производимых изделий из ПКМ. Данная технология используется в том числе для производства углепластиковых панелей кессона крыла и центроплана самолета МС-21.

В рамках серии прикладных научных работ, ведущихся на кафедре химической технологии и новых материалов МГУ им. М.В. Ломоносова начиная с 2012, пройдет путь от лабораторной разработки до внедрения в серийное производство комплекса материалов для композитного крыла самолета МС-21, включая квалификационные испытания, необходимые для одобрения применения материалов в гражданской авиации. В конце 2021 году МС-21 с композитным крылом из разработанных материалов осуществил свой первый полет, серийные поставки самолета ожидаются с 2025 года.

Комплекс выполненных работ включает в себя:

- Разработку термореактивного связующего на основе эпоксидных смол и ароматических аминов обладающего высокими физико-механическими свойствами, низкой вязкостью (менее 100 мПа\*с, при 100 °С) в совокупности с продолжительным технологическим окном (сохранением вязкости менее 150 мПа\*с на протяжении более 7 часов), обеспечивающим его эффективное применение для изготовления крупногабаритных изделий из ПКМ методом вакуумной инфузии.
- Разработку углеродной ленты, стабилизированной термопластичным нетканым материалом, обеспечивающим как возможность автоматической выкладки ленты на роботизированном комплексе с высокой производительностью, так и увеличение стойкости углепластика к ударным воздействиям за счет введения термопластичной фазы в жесткую термореактивную полимерную матрицу.
- Разработку и изготовление уникального опытного и серийного оборудования для производства углеродной ленты, производительностью до 800 тыс. м<sup>2</sup> /год, что достаточно для обеспечения производства более 36 самолетов МС-21/год.
- Проведение квалификационных испытаний, подтверждающих возможность применения материалов в гражданской авиации.

Выполненные работы позволили в кратчайшие сроки заменить зарубежные материалы в конструкции композитного крыла самолета МС-21 и обеспечить серийное производство данного воздушного судна.

### **Благодарность**

Разработку технологии производства нетканых материалов для производства углеродной ленты (работа ведется в рамках реализации проекта по соглашению № 075-11-2022-010 от 6.04.2022 г. по ПП РФ от 9 апреля 2010 г. № 218).



УДК 678.6

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГОМОФАЗНОГО ГЛИКОЛИЗА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Киришанов К.А., Томс Р.В., Гервальд А.Ю.**

*МИРЭА – Российский Технологический Университет, Москва, пр-т Вернадского, д. 86  
E-mail: kirill\_kirshanov@mail.ru*

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) является крупнейшим по объему производства поликонденсационным полимером, поэтому утилизация его отходов представляет собой важную задачу. Ежегодно в России порядка 400 тысяч тонн ПЭТ отправляют на захоронение. Среди способов вторичной переработки – рециклинга полиэтилентерефталата – наиболее перспективными являются химические. Гидролиз, алкоголиз, ацидолиз и другие способы позволяют получить широкий спектр полиэфирных продуктов.

Наиболее исследуемым направлением является химический рециклинг под действием этиленгликоля, так как позволяет он получить бис(2-гидроксиэтил) терефталат (БГЭТ) и олигоэтилентерефталаты (ОЭТ) для синтеза ПЭТ, аналогичного по свойствам первичному. За алкоголизом полиэтилентерефталата под действием соединений с двумя и более гидроксильными группами закрепилось название «гликолиз». Гликолиз ПЭТ подразделяют на гомофазный, протекающий в растворе или расплаве, и гетерофазный, при котором частицы полимера диспергированы в этиленгликоле.

Целью работы является исследование кинетики гомофазного гликолиза полиэтилентерефталата под действием этиленгликоля, а также БГЭТ и ОЭТ, добавленных отдельно или образованных в ходе реакции.

Для описания кинетики использовали подход, учитывающий изменение концентрации концевых и связанных в цепи звеньев этиленгликоля, а также свободного этиленгликоля. При этом все концентрации учитывали отдельно для исходного полиэфира и для агента гликолиза, пренебрегая влиянием длины цепи. Таким образом, процесс описывали 12 элементарных реакций и 6 уравнений материального баланса. Для расчета были использованы энергии активации и предэкспоненты, приведенные в справочных данных для обратимой реакции синтеза ПЭТ полиперэтерификацией. В качестве катализатора использовали раствор оксида сурьмы (III) в этиленгликоле.

Модель верифицировали сравнением молекулярно-массовых характеристик и выхода БГЭТ, рассчитанных теоретически по концентрациям и определенных экспериментально. Для этого гликолиз вели в растворе в диметилсульфоксиде и *n*-метилпирролидоне при температурах 165 или 180 °С и в расплаве при температурах от 190 до 270 под атмосферным давлением или изобарно.

Предложенная кинетическая модель обладает высокой сходимостью с экспериментальными результатами. Использование модели позволит оптимизировать гликолиз ПЭТ и обеспечить наиболее полный рециклинг отходов полиэтилентерефталата.

УДК 69.05

## ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

**Коврига В.В.**<sup>1</sup>, Дементьева А.Г.<sup>2</sup>, Дубинина М.С.<sup>2</sup>, Черников Д.А.<sup>2</sup>,  
Пексимов О.Е.<sup>3</sup>, Колбая В.Г.<sup>2</sup>, Каргин Ю.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ООО «Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО», г. Москва, Очаковское шоссе, д. 18, стр. 3  
E-mail: info@polymerteplo.ru

<sup>2</sup> ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК», г. Москва, Очаковское шоссе, д. 18, стр. 3, помещ. 014  
E-mail: info@polyplastic.ru

<sup>3</sup> «Институт пластмасс имени Г. С. Петрова», г. Москва, Перовский проезд, д.35  
E-mail: fizmeh@mail.ru

<sup>4</sup> АО «Гипронишгаз», г. Москва, ул. Большая Полянка, д. 2, стр. 2, помещ. 1/2  
E-mail: Kargin.vl64@yandex.ru

1. Актуальность проблемы оценки жизненного цикла ПЭ газопроводов определена нормативами ПАО «Газпром» о необходимости проведения диагностики и принятия решения о замене ПЭ труб в составе газопроводов после их 40 лет эксплуатации.

2. Работы по определению жизненного цикла ПЭ газопровода выполняются в течении последних 15 лет по заданию ПАО «Газпром» специалистами ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК» [1]. В ходе данных работ выделены три группы параметров оценки жизненного цикла – физико-химические свойства, свариваемость и механические свойства. Момент наступления критического состояния ПЭ газопровода определяется исчерпанием ресурса по всем трём группам параметров.

3. Момент наступления критического состояния ПЭ газопровода по физико-химическим свойствам определяется полным исчерпанием стабилизаторов и сокращением до нуля времени окислительной индукции, и составляет около 25 лет с начала эксплуатации, по показателю свариваемости, оценённому по виду шва и качеству грата - около 50 лет. Оценка механических свойств в настоящее время не позволяет установить время исчерпания ресурса, поскольку по исчерпанию ресурса по первым двум группам ресурс механических свойств сохраняется. Проведены работы по оценке ресурса через механические свойства путем сравнения температуры хрупкости исходного материала и материала после эксплуатации в течении 30 – 40 лет.

4. В ходе работ установлено, что в материале ПЭ газопроводов существует механизм самозащиты от деструктивного внешнего воздействия. Диффузия кислорода, приводящего к разрушению ПЭ существенно тормозится газовым потоком, возникающим при высоком давлении в трубопроводе, что тормозит процесс окисления.

Высокий уровень пластичности ПЭ с величиной естественной кратности вытяжки равной четырем позволяет материалу газопровода выдерживать воздействия третьих сил (землетрясения, строительных работах и др.)

### Ссылки

[1] В. В. Тарасов, В. А. Клименко, А. В. Гельман, И. Ф. Шпара, В. Г. Колбая, В. А. Метелкин, М. В. Ковязин, В. В. Коврига. Возможность технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов, эксплуатирующихся более 40 лет // Газ России – 2015 – № 4. С.50- 57.

544.777

## ПОДХОДЫ К «УПРАВЛЕНИЮ» САМООРГАНИЗАЦИЕЙ АМФИФИЛЬНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ЛАКТИДА И ОКСИДА ЭТИЛЕНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ МИЦЕЛЛ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

**Кузнецова Е.В.<sup>1</sup>, Седуш Н.Г.<sup>1,2</sup>, Пучкова Ю.А.<sup>1,2</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, ул. Профсоюзная, д. 70  
E-mail: kuznetsova.kate992@gmail.com*

Самоорганизацию в водной среде биосовместимых амфифильных блок-сополимеров в упорядоченные надмолекулярные наноструктуры различной морфологии (в простейшем случае – в сферические мицеллы) активно исследуют последние несколько десятилетий. Блок-сополимерные мицеллы благодаря своему строению типа «ядро-корона» способны эффективно солубилизировать различные биологически активные соединения, в том числе мало- или нерастворимые в воде лекарственные агенты. Кроме того, физико-химические свойства таких мицелл можно «настраивать», варьируя как молекулярный состав исходного блок-сополимера, так и условия формирования мицелл, что делает их перспективными объектами для биомедицины.

Данная работа посвящена поиску и разработке эффективных подходов для «управления» самоорганизацией биосовместимых амфифильных блок-сополимеров лактида и оксида этилена в водном растворе и получению на их основе мицелл-носителей с контролируемыми свойствами. С использованием комплекса современных методов исследования, включая флуоресцентную спектроскопию, динамическое и статическое светорассеяние, просвечивающую электронную микроскопию, атомно-силовую микроскопию, рентгеновское рассеяние в больших и малых углах, установлено влияние не только молекулярного состава сополимеров поли(лактид)-*b*-поли(этиленоксид) ПЛА-*b*-ПЭО, но и условий их самоорганизации на физико-химические свойства мицелл на их основе.

Основываясь на установленных в работе зависимостях, разработаны подходы к «управлению» самосборкой сополимеров ПЛА-*b*-ПЭО, позволяющие получать мицеллы типа «ядро-корона» с воспроизводимыми характеристиками, регулируемым размером от 20 до 200 нм, высокой термодинамической и кинетической стабильностью, настраиваемой солубилизационной емкостью и скоростью высвобождения загруженных в них веществ. В результате получены мицеллы ПЛА-*b*-ПЭО, способные загружать лекарственные агенты различной природы в достаточно высокой концентрации (до 30 масс. %), которые показали улучшенную селективность действия в отношении раковых опухолей по сравнению со свободными препаратами.

УДК 541.64:577.112.4

## ПРИВИТАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ НА МОРСКОЙ КОЛЛАГЕН В ПРИСУТСТВИИ АЛКИЛОВ БОРА

**Кузнецова Ю.Л., Лобанова К.С., Гущина К.С., Вавилова А.С.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, пр. Гагарина, дом 23, корп. 2  
E-mail: kyul@yandex.ru*

Материалы для регенеративной медицины – скаффолды – представляют собой композиты, включающие фрагменты природных и синтетических полимеров в различных сочетаниях. Формирование скаффолдов происходит за счет водородных, ионных, ковалентных связей между макромолекулами.

Были синтезированы сшитые сополимеры коллагена и акриловых мономеров в присутствии алкилов бора в интервале температур 25-60°C. Инициирование привитой радикальной полимеризации метилметакрилата, бутилакрилата, акриламида и N-изопропилакриламида может проходить двумя путями. Первый – образование макрорадикалов коллагена путем отрыва атомов водорода радикалами, образующимися при окислении алкилборана. Второй – контролируемая полимеризация, агентами которой выступают диалкилборированные фрагменты коллагена, формирующиеся при взаимодействии алкилборана с коллагеном. Для усиления роли борированных фрагментов коллагена предпочтительнее последовательное введение борорганического соединения и мономера в реакционную массу. Привитые макрорадикалы вступают в радикальное замещение на атоме бора борированного коллагена. В результате полимерная цепь начинается и обрывается на коллагене, приводя к образованию сшитого сополимера.

Молекулярные массы привитых синтетических фрагментов зависят от концентрации мономера. Дополнительное регулирование молекулярной массы достигается при введении в реакционную массу *n*-хинонов различного строения совместно с алкилбораном.

Привитая полимеризация акриловых мономеров на смесь коллагена и полисахарида (пектина или хитозана) в присутствии алкилборана позволяет получить сшитые терполимеры. Процесс протекает в соответствии с описанной схемой, при этом часть полисахарида входит в состав композита только за счет водородных связей.

Цитотоксичность полученных сополимеров, оцененная методом МТТ теста на кожных фибробластах человека, зависит от строения мономера и *n*-хинона. Лучшие результаты получены для метилметакрилата и N-изопропилакриламида, а также *n*-хинонов с алкильными заместителями в кольце.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-73-01055).



УДК 543.442.3;547.1;547.564;547.897;678

## НОВЫЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИЕ ИНИЦИАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ

**Манкаев Б.Н.<sup>1,2</sup>, Карлов С. С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Химический факультет.  
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.*

<sup>2</sup> *Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН, 119991, Москва, Ленинский пр-т., 47  
E-mail: mankaev.badma@gmail.com*

Полиэфиры, включая поликапролактон (PCL), полилактид (PLA) и их сополимеры, привлекли значительное внимание в последние десятилетия из-за их потенциала благодаря биоразлагаемым свойствам, а также возможности использования для их получения возобновляемых ресурсов [1]. Большой интерес был сосредоточен на их биомедицинских и фармацевтических применениях, таких как адресная доставка лекарств, абсорбируемые хирургические шовные материалы, штифты и материалы для тканевой инженерии [2]. Наиболее удобным и часто используемым методом получения полиэфиров является полимеризация лактонов с раскрытием цикла (ROP, ring-opening polymerization) в присутствии инициаторов на основе комплексов металлов. На сегодняшний день исследования по поиску новых стабильных в условиях промышленного применения и менее токсичных инициаторов на основе комплексов непереходных металлов (по сравнению с используемыми в настоящее время на основе олова), проявляющих в то же время высокую каталитическую активность в синтезе указанных полимеров, являются одними из важных задач современной химии полимеров.

В ходе данной работы был осуществлен синтез на основе дианионных три- и тетрадентатных лигандов комплексов алюминия, галлия и титана, стабилизированных внутримолекулярным взаимодействием азот-элемент, а также изучено влияние структуры лиганда на тип получаемых комплексов и их активность в гомо- и сополимеризации  $\epsilon$ -капролактона и лактида.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 20-13-00391).

### Ссылки

[1] Mankaev B.N., Karlov S.S. Metal Complexes in the Synthesis of Biodegradable Polymers: Achievements and Prospects. // Materials. - 2023. Vol. 16. - P. 6682.

[2] Place E.S., Evans, N.D., Stevens, M.M. Complexity in biomaterials for tissue engineering. // Nat. Mater. - 2009. Vol. 8. - P. 457-470.

УДК 547.917: 546.03

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ

**Масленникова М.С., Качалова Е.А., Зарубин Д.М.,  
Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия  
E-mail: salomatina\_ev@mail.ru*

В последнее время одной из глобальных экологических проблем стало увеличение в геометрической прогрессии перерабатываемых отходов полимерных материалов. Огромный вклад в экологические проблемы вносит использование одноразовой упаковки и средств индивидуальной защиты, что существенно усугубилось в период Covid-19. Одним из возможных путей снижения экологической нагрузки является создание биodeградируемых упаковочных материалов на основе полисахаридов – крахмала (КР) и хитозана (ХТЗ), что обусловлено их биосовместимостью и неограниченными сырьевыми источниками.

С целью совмещения ХТЗ с КР выполнена их модификация – энантовым альдегидом в первом случае, а КР путем привитой полимеризации с акриламидом (АА). Отработаны условия совмещения модифицированных ХТЗ с КР в водно-кислотных растворах. С целью повышения физико-механических и барьерных свойств пленок выполнено включение в состав композиции наночастиц диоксида титана ( $TiO_2$ ). Методом полива получены пленочные образцы. Армированием пленок ХТЗ введением небольших концентраций  $TiO_2$  было достигнуто повышение прочностных характеристик образцов при разрыве (Таблица 1).

Таблица 1. Прочностные характеристики пленочных образцов ХТЗ:(КР-прив-АА 1:2 по массе) = 1:3 по массе с разным содержанием пластификатора - глицерина и  $TiO_2$

$TiO_2$ , %	Глицерин, %	Прочность на разрыв, МПа	Удлинение, %
0	0	8,3	3,48
2	0	26,2	8,1
2	10	16,2	9,4
2	20	14,0	7,93
2	30	23,5	44,5

Методами ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа исследована структура композиций. Показана однородность распределения  $TiO_2$  в матрице хитозана и снижение кристалличности последнего. Барьерные свойства полученных пленок превышают показатели синтетических пленок, используемых в упаковке.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 23-74-10069.

УДК 579.66:661.746.24

## ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИЛАКТИДА В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ НА БИОДЕГРАДАЦИЮ

**Миронов В.В.<sup>1</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>2</sup>, Москвина М.А.<sup>2</sup> Острикова В.В.<sup>1</sup>,  
Поцелеев В.В.<sup>2</sup>, Анисимов Д.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии»  
Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Россия  
E-mail: 7390530@gmail.com

Увеличение использования полимеров из возобновляемых источников, таких как алифатические полиэфиры, усилило необходимость понять их поведение в сценарии окончания срока службы упаковки пищевых продуктов. Целью этой работы было изучение влияния повышенной до 10% концентрации упаковки из полилактида (ПЛ) в смеси с пищевыми отходами (ПО) на компостирование в ходе 98 сут пилотного испытания. В экспериментах использовали образцы ПЛ, марки NatureWorks (США) со следующими характеристиками: содержание D-изомерных звеньев 4%,  $M_n$  76 кДа,  $\overline{M}_w$  2.2,  $T_{ст}$  63 °С,  $T_{крист}$  119 °С,  $T_{пл}$  149 °С.

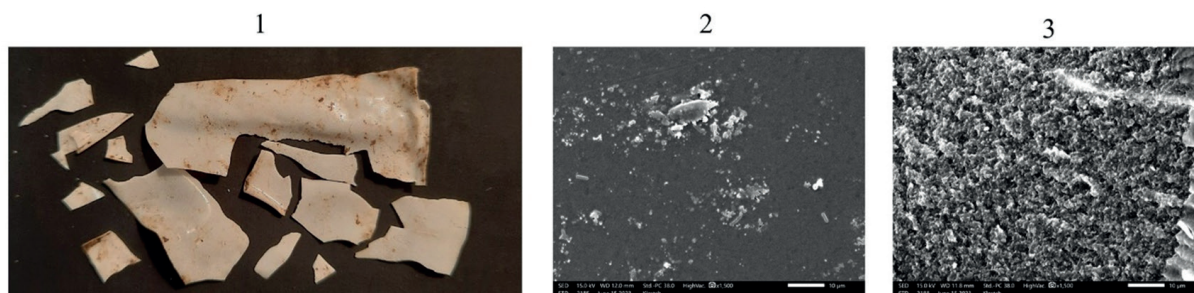


Рисунок 1. Внешний вид 1 и результаты СЭМ поверхности 2 и скола 3 пластин ПЛ после 7 сут компостирования

Повышенное содержание ПЛ увеличивает на 12 сут термофильную стадию в диапазоне спонтанного роста температуры до 54-68 °С, потребление кислорода на 46% и способствует снижению эмиссии аммиака и летучих низкомолекулярных кислот. При этом в первую неделю основным механизмом деградации ПЛ является гидролитическая деструкция, катализируемая органическими кислотами и аммиаком, образующимися при компостировании ПО. На второй неделе молекулярная масса полимера уменьшается до 9-13 кДа, что делает возможным подключение механизмов биodeградации, рис. 1. Повышенное содержание ПЛ приводит к значительному увеличению доли термофильных бактерий в микробном сообществе, за счет представителей рода *Bacillus*, составляющих 36-40% всего бактериального сообщества, а также родов *Geobacillus*, *Caldibacillus*, *Planifilum*, *Novibacillus* и *Theridimicrobium*.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00237, <https://rscf.ru/project/23-24-00237/>.

УДК 54.057:648:543.063

## ПОЛИЭФИРЫ НА ОСНОВЕ БИОДОСТУПНОЙ СИРЕНЕВОЙ КИСЛОТЫ

**Михайлов П.А., Зуев К.В., Куличихин В.Г.**

*ИНХС РАН, Москва, Ленинский проспект, 29*

*E-mail: pmih@ips.ac.ru*

Эффективное и экономически обоснованное использование биодоступного растительного сырья для получения полимеров представляет большой интерес как с академической, так и с практической точки зрения. К настоящему времени уже развит ряд подходов химического превращения растительной биомассы в многочисленные мономеры (дикарбоновые кислоты, гидроксикислоты, диолы) для синтеза полиэфиров. Например, широко используется биодоступная молочная кислота, применяемая для получения полилактида. Также из растительных полисахаридов путем гидролиза можно выделить 2,5-фурандикарбоновую кислоту и диол изосорбид, также используемые для синтеза биоразлагаемых полиэфиров. Такие материалы предлагается использовать в качестве упаковочных материалов взамен полиэтилена и полиэтилентерефталата. В последнее десятилетие активно исследуется возможность использования лигниносодержащих отходов для получения полиэфиров. Наиболее перспективными бифункциональными мономерами из лигнина являются: 4-гидроксibenзойная, ванилиновая (3-метокси-4-гидроксibenзойная), 4-гидроксикоричная, феруловая (3-метокси-4-гидроксикоричная), флоретиновая (3-(4-гидроксифенил)пропионовая) и сиреневая (3,5-диметокси-4-гидроксibenзойная) кислоты. Полиэфиры на основе 4-гидроксibenзойной и ванилиновой кислот достаточно хорошо исследованы. В частности, недавно из ванилиновой кислоты был получен перспективный аналог полиэтилентерефталата – полиэтилениванилат.

По нашим данным, полиэфиры на основе сиреневой кислоты исследованы чрезвычайно мало. Вместе с тем, в продуктах химической переработки лигнина может содержаться значительные количества сиреневого альдегида и сиреневой кислоты. Как и другие ароматические гидроксикислоты, сиреневая кислота является мезогенным мономером АВ-типа. Введение сиреневой кислоты в структуру макроцепи может увеличить температуру стеклования и уменьшить температуру плавления сополиэфиров, что улучшает их термостойкость и облегчает переработку. В настоящей работе исследуются перспективы использования сиреневой кислоты для получения полуароматических и полностью ароматических сополиэфиров, включая возможности получения термотропных полимеров, а также, взаимосвязь их структуры и термических, реологических и механических характеристик.



УДК 541.64:539.199

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПЕПТИДНЫХ ДЕНДРИМЕРОВ С ФУЛЛЕРЕНАМИ МЕТОДОМ МД

Безродный В.В.<sup>1</sup>, Михтанюк С.Е.<sup>2</sup>, Шавыкин О.В.<sup>1,3</sup>,  
Фатуллаев Е.И.<sup>2</sup>, Шевелева Н.Н.<sup>1</sup>, Маркелов Д.А.<sup>1</sup>, Неелов И.М.<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7/9

<sup>2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д.49

<sup>3</sup> ТвГУ, Тверь, Садовый пер. д.35

<sup>4</sup> Институт высокомолекулярных соединений, Санкт-Петербург, Большой пр. д.31

E-mail: i.neelov@mail.ru

Разработка новых наноконтейнеров для гидрофобных лекарственных препаратов является одной из важнейших задач наномедицины. Дендримеры с гидрофобной внутренней частью и гидрофильными концевыми группами уже давно используются в качестве таких наноносителей. Цель настоящей работы – первое молекулярно-динамическое исследование комплексообразования гидрофобных молекул фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  с пептидными дендримерами Lys-2Gly, Lys G2 и Lys G3 в воде [1]. Мы провели такое моделирование для шести различных систем и продемонстрировали, что фуллерены обоих типов проникают во все рассмотренные дендримеры и образуют с ними устойчивые комплексы. Плотность и гидрофобность внутри комплексов оказывается большей, чем у дендримеров. без фуллерена, особенно для комплексов с дендримерами Lys-2Gly. Это делает внутренние области комплексов менее доступными для воды и противоионов и увеличивает электростатический и дзета-потенциал комплексов по сравнению с отдельными дендримерами. Результаты для комплексов на основе дендримеров Lys G2 и Lys G3 оказались аналогичными, но менее выраженными. Таким образом, все рассмотренные пептидные дендримеры могут быть использованы в качестве наноконтейнеров для доставки фуллеренов.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 23-13-00144.

УДК 577.151:628.477.6

## ФЕРМЕНТНЫЙ ПРЕПАРАТ ПЭТАЗЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Осипов Д.О.<sup>1</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>2</sup>, Рожкова А.М.<sup>1</sup>, Москвина М.А.<sup>2</sup>,  
Гроховская Т.Е.<sup>2</sup>, Ярославов А.А.<sup>2</sup>, Сеницын А.П.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр “Фундаментальные основы биотехнологии”  
Российской академии наук, Москва, 119071*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991  
E-mail: doosipov@gmail.com*

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – один из самых широко распространенных полимеров и самый используемый полиэфир, получаемый поликонденсацией терефталевой кислоты и этиленгликоля. Используется как сырье в производстве упаковки и синтетического волокна. До 55% ПЭТФ подвергается переработке, прочая часть становится загрязнителем окружающей среды.

В начале XXI века появились первые сведения о ферментах, способных к деполимеризации ПЭТФ, а к настоящему моменту известно о 19 гидролазах, способных разрушать этот полимер. С помощью технологии рекомбинантной ДНК нами был получен штамм *P. verruculosum*, продуцирующий ПЭТазу из метагенома сапротрофного консорциума микроорганизмов. Полученный на его основе сухой ферментный препарат, показавший высокую активность по пНФ-бутирату (более 60000 ед/г), был использован для ферментативной деструкции различных типов ПЭТФ.

Было показано, что при механических испытаниях пленок из ПЭТФ (степень кристалличности 3%) после обработки ферментом при 60 °С и рН 8 (0,08 мг ПЭТазы/мг ПЭТФ, 24 часа) существенно снижались их механические характеристики: на 20-25% уменьшились значения пределов текучести, в 2 раза (до 30 мПа) уменьшалось напряжение при разрыве и в 5-10 раз (до 50-130%) падало разрывное удлинение. Потеря массы образцов составляла 23-25% через 48 ч гидролиза (0,08 мг ПЭТазы/мг ПЭТФ) и почти 90% через 168 ч (0,2-0,9 мг ПЭТазы/мг ПЭТФ). Аналогичные изменения происходили и с толщиной образцов: в первом случае она уменьшалась на 20-25%, во втором – на 75%. Микроскопические методы исследования показали, что процесс деструкции сопровождается образованием каверн и пор только на поверхности полимера, что свидетельствует в пользу поверхностного механизма действия фермента.

В экспериментах по ферментативной деструкции материала ПЭТФ-бутылок было обнаружено, что он практически не подвергается разрушению. Однако его измельчение (<250 мкм) приводит к потере 83% массы после 168 ч (0,06 мг ПЭТазы/мг ПЭТФ), что, вероятно, связано с уменьшением кристалличности.

Таким образом, применение ферментного препарата ПЭТазы может быть использовано в качестве альтернативы химическому рециклингу, осуществляемому в более жестких условиях.

УДК 541(64+49)

## ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ И ПОЛИКОМПЛЕКСЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

**Панова И.Г.<sup>1</sup>, Якименко О.С.<sup>2</sup>, Ярославов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, Россия

<sup>2</sup> Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, 119991, Ленинские горы, Россия

E-mail: [igpan@mail.ru](mailto:igpan@mail.ru)

Деградация и загрязнение почв представляют собой глобальные проблемы современности. Наибольший ущерб наносят дефляция и эрозия верхнего почвенного покрова, приводящие к разрушению почвенной структуры, выносу питательных элементов, переносу токсикантов и, как следствие, ухудшению качества почв и их плодородия. Не менее серьезной проблемой является дефицит пресной воды, необходимой для орошения и полива сельскохозяйственных культур. Для минимизации эрозионных процессов и улучшения физическо-химических свойств почв используют специальные мелиоранты, среди которых одними из наиболее эффективных считаются полиэлектролиты (ПЭ). Помимо индивидуальных полимеров предложено использовать стехиометрические и нестехиометрические полиэлектролитные комплексы (ПЭК), продукты кооперативного электростатического взаимодействия двух противоположно заряженных ПЭ. Показано, что в качестве составляющих ПЭК компонентов могут быть использованы как синтетические, так и природные ПЭ, в том числе гуминовые соединения. Описаны мультифункциональные полимерные рецептуры, оказывающие выраженное противозерозивное действие и, одновременно, способные стимулировать рост и развитие растений, накапливать и запасать влагу, связывать ионы токсичных металлов. Предложенная технология позволяет подстраивать состав, заряд и гидрофильно-гидрофобный баланс поликомплексов под состав и свойства стабилизируемой почвы или искусственного почвогрунта, а также круг решаемых задач, что делает адресным использование ПЭК в природоохранных технологиях.

Особое внимание уделяется исследованию потенциальной токсичности полимерных рецептур. В серии биотестов показано, что при непосредственном контакте полимеров с микроорганизмами различного трофического уровня в водной среде их токсичность выше, чем при их опосредованном действии, после внесения в почву. При этом токсичность наиболее агрессивных катионных составов снижается при переходе от простых бактерий и инфузорий к более сложным клеткам млекопитающих и высшим растениям. При концентрациях ПЭ, обычно используемых для противозерозивной обработки почв, токсические эффекты в фитотестах не регистрируются.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш07-13.

УДК 547.874.1, 576.08, 54.05, 691.175

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА НОВЫХ 1,3,5-ТРИАЗИНОВЫХ МОНОМЕРОВ ТИПА АВ<sub>2</sub> И СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

**Петров А.О., Малков Г.В., Карпов С.В., Шастин А.В., Филатова Н.В.,  
Мумятова В.А., Перепелицына Е.О.**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
Черноголовка, проспект акад. Семенова, д.1  
E-mail: petrov\_ao@icp.ac.ru*

Разработка новых высокомолекулярных соединений для биомедицинских приложений является актуальной и важной задачей химической науки. Интерес представляют сверхразветвленные полимеры (СРП), макромолекулы которых обладают развитой трехмерной нерегулярной структурой. Активное исследование этих полимеров обусловлено рядом их уникальных свойств: лучшая, по сравнению с полимерами линейного строения, растворимость в органических растворителях и более низкая вязкость растворов; наличие в структуре полостей для инкапсулирования молекул-гостей, большое количество функциональных групп и возможность их модифицирования; простая, по сравнению с дендримерами, методика получения.

1,3,5-триазин - шестичленное ароматическое кольцо, содержащее три атома азота. Соединения на основе 1,3,5-триазина проявляют различные биоактивные свойства: антибактериальные, противовирусные, противораковые, противогрибковые и т.д. Нахождение в молекуле 1,3,5-триазина азидо- и пропинильной функциональных групп позволяют рассматривать данные соединения как полифункциональные мономеры типа АВ<sub>2</sub>, которые способны образовывать СРП по реакциям азидо-алкинового циклоприсоединения. Данные полимеры можно использовать в биомедицинских приложениях в качестве удобной платформы для создания мультитаргетных соединений за счет большого количества концевых функциональных групп и возможности их контролируемого модифицирования. Или использовать СРП в качестве макромолекулярного контейнера для инкапсулирования и адресной доставки биоактивных соединений за счет наличия полиазотистых циклов в структуре.

Данная работа посвящена получению азидо-ацетиленовых мономеров на основе 1,3,5-триазина, синтезу и исследованию процесса получения СРП, и определению биологической активности полученных соединений.

В ходе выполнения работы были разработаны оптимальные методики получения 8 мономеров типа АВ<sub>2</sub>, получены СРП на их основе и исследованы процессы получения полимеров, изучены цитотоксичность и антибактериальная активность полученных соединений.

Показано, что СРП, не содержащие азидных групп, не проявляют ярко выраженной токсичности и могут быть потенциально использованы в качестве основы для биосовместимых материалов в биомедицинских приложениях.

### **Благодарность**

Работа выполнена согласно государственному заказу (регистрационные номера 124020800013-7 и 124020500019-2) с использованием оборудования Аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

## ТОПОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ В МИКРОЧАСТИЦАХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МОНОМЕРОВ НА ОСНОВЕ ТРИАЗИНА: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ТРАДИЦИОННОЙ И СВЕРХБЫСТРОЙ КАЛОРИМЕТРИИ

Комов Е.В.<sup>1</sup>, Мельников А.П.<sup>1</sup>, Пирыжев А.А.<sup>1,2</sup>, Маряевская А.В.<sup>1,2</sup>, Петров А.О.<sup>2</sup>, Малков Г.В.<sup>2</sup>, Шастин А.В.<sup>2</sup>, Анохин Д.В.<sup>1,2</sup>, Иванов Д.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1

<sup>2</sup> ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Черноголовка, 142432, пр-кт акад. Семенова, д.1, г.о. Черноголовка, Московская обл.  
E-mail: stunnn@gmail.com

Сверхразветвленные полимеры, содержащие азидные и этинильные группы, а также триазиновые и триазольные циклы обладают перспективой использования в качестве энергоемких материалов. В частности, благодаря разветвленной структуре, они имеют низкую вязкость растворов и расплавов, хорошую растворимость и высокую сорбционную способность, а также характеризуются наличием в своем составе большого количества функциональных концевых групп, позволяющих модифицировать и варьировать свойства СРП при создании новых материалов. Однако, для практического использования, большой интерес представляют не только итоговые свойства материала, но и влияние термической предыстории и условий хранения мономеров и кинетика протекания полимеризационных процессов. Классического метода ДСК зачастую может быть недостаточно для изучения протекающих процессов, поэтому в данной работе был применен метод сверхбыстрой калориметрии на чипе.

В данной работе рассмотрено сложное термическое поведение двух азид-алкиновых мономеров на основе триазина: 2-азидо-4,6-бис(проп-2-ин-1-илокси)-1,3,5-триазина (АВРОТ) и 2, 4-диазидо-6-(проп-2-ин-1-илокси)-1,3,5-триазин (ДАРОТ). Несмотря на сходство двух структур типа АВ<sub>2</sub>, кинетика изотермического старения ДАРОТ происходит значительно быстрее, чем у АВРОТ. Был изучен двухстадийный процесс полимеризации, было полностью охарактеризовано фазовое поведение системы, включая плавление, олигомеризацию, полимеризацию и распад.

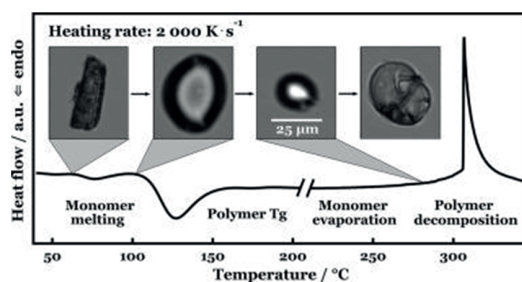


Рисунок 1. Фазовое поведение частицы ДАРОТ.

### Благодарность

Работы при поддержке гос. задания № FFSG-2024-0017.



УДК 541.64:547.315.2

## ТВЕРДЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ИЗОПРЕНА И БУТАДИЕНА. СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Розенцвет В.А., Ульянова Д.М., Саблина Н.А.**

*Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального  
исследовательского центра РАН, г. Тольятти, ул. Комзина, 10  
E-mail: rozentsvet@mail.ru*

Целью работы является разработка эффективных методов синтеза твердых термопластичных полимеров с использованием реакции катионной полимеризации изопрена и бутадиена, изучение строения и физико-химических свойств синтезированных полидиенов, а также поиск областей их практического применения.

Установлено, что катионная полимеризация изопрена под действием иницилирующих систем, состоящих из алюминийорганических соединений в сочетании с третичными алифатическими алкилгалогенидами (АГ) позволяет синтезировать твердые термопластичные полимеры изопрена, характеризующиеся пониженной ненасыщенностью (40-45 мол.% от теоретической), высокими температурами стеклования (52-60°C) и размягчения (102-128°C) [1]. При замене третичных АГ на вторичные были получены твердые термопластичные полимеры бутадиена с показателями температур стеклования в интервале от 52 до 60°C и температур размягчения в пределах от 140 до 184°C [2]. Синтезированные полимеры полностью растворимы в органических растворителях, характеризуются преимущественно 1,4-*транс*-структурой ненасыщенной части полимерной цепи и по физико-химическим свойствам являются аналогами импортных алифатических углеводородных смол, производство которых в России отсутствует.

Твердый термопластичный полимер изопрена был испытан в качестве компонента полимерной композиции для рулонных кровельных материалов на основе бутилкаучука. Установлено, что опытная полимерная композиция по физико-механическим показателям не уступает контрольной композиции, полученной с применением импортной алифатической смолы «Nikorez C-1100», и характеризуется более высоким показателем «прочность связи с металлом при отрыве».

### Ссылки

[1] Rozentsvet V.A. Diethylaluminum chloride-co-initiated cationic polymerization of isoprene: dramatic effect of the nature of alkyl halide on the properties of synthesized polymers / V.A. Rozentsvet, D.M. Ulyanova, N.A. Sablina, S.V. Kostjuk, N.V. Sidorenko, P.M. Tolstoy // J. Macromol. Sci., Part A: Pure and Appl. Chem. – 2023. – Vol. 60, № 10. – P. 705–716.

[2] Rozentsvet V.A. Cationic polymerization of butadiene using alkylaluminum compounds as co-initiator: approach toward solid polybutadienes / V.A. Rozentsvet, D. M. Ulyanova, N. A. Sablina, S. V. Kostjuk, P. M. Tolstoy, I. A. Novakov // Polym. Chem. – 2022. Vol. 13. – P. 1596-1607.

УДК 535.36: 541.64:544.032

## ПОЛИФЛУОРЕНОВЫЕ ЩЕТКИ С БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

**Симонова М.А., Каскевич К.И., Зеленцов М.Д., Ромашева М.М.,  
Филиппов А.П., Якиманский А.В.**

НИЦ «Курчатовский институт» Институт Высокомолекулярных соединений РАН,  
Санкт-Петербург, Большой пр., д.31  
E-mail: mariasimonova1983@mail.ru

Работа посвящена синтезу и исследованию люминесцирующих амфифильных молекулярных щеток (АМЩ) с основной полифлуореновой цепью и боковыми цепями полиметакриловой кислоты (ПФ-прив-ПМАК). Способность таких систем образовывать мицеллы может позволить использовать их в таких направлениях, как доставка лекарств и биовизуализация. Синтез молекулярных щеток осуществляли в 3 стадии (Рисунок 1): 1) получен мультицентровой полифлуореновый макроинициатор (МИ), содержащий иницирующие  $\alpha$ -бромэфирные группы; 2) методом «прививки от» по механизму ATRP были привиты к МИ боковые цепи поли-*трет*-бутилметакрилата (ПтБМА); 3) для получения ПФ-прив-ПМАК был проведен кислотный гидролиз ПФ-прив-ПтБМА. Полимеры различались плотностью прививки (75, 92 и 95 процентов), длиной основной и боковых цепей. Кроме этого были исследованы МИ и отщепленные боковые цепи. Методами статического, динамического рассеяния света и вискозиметрии установлено влияние плотности прививки и длины основной цепи на поведение АМЩ в органических, водных и физиологических растворах, а также при взаимодействии ижектированных мицелл с куркумином. Установлено, что при высокой плотности прививки ПФ-прив-ПМАК растворяется в этаноле молекулярно, но при этом макромолекулы образуют структуру типа ядро–оболочка. Нерастворимое полифлуореновое ядро и оболочка из ПМАК. Данная конформация сохраняется при ижектировании ПФ-прив-ПМАК в водный раствор.

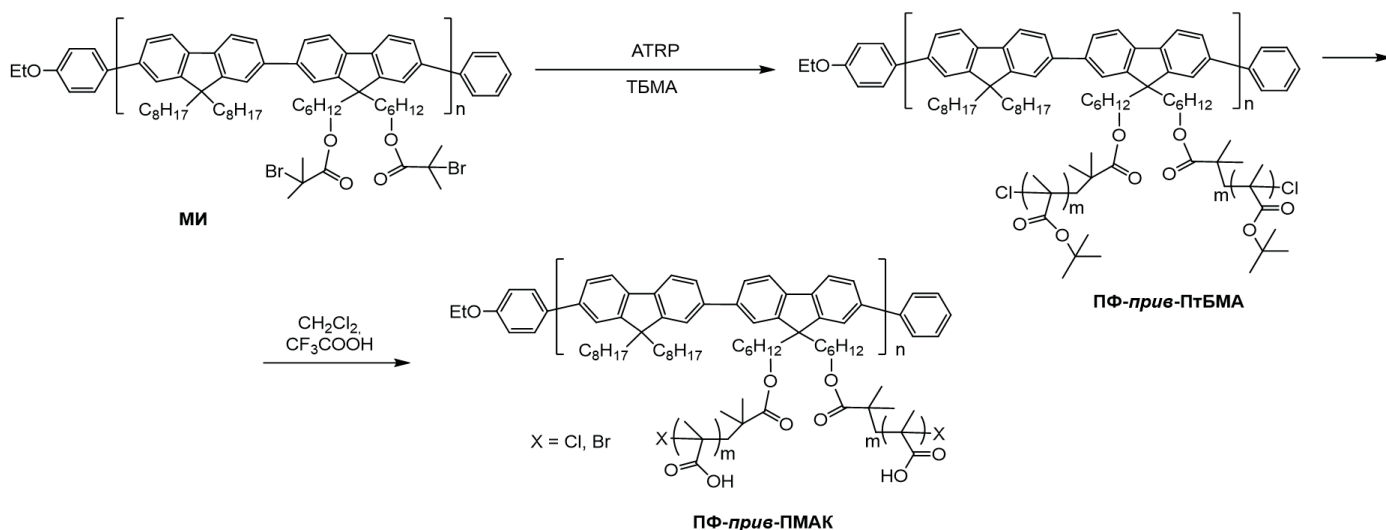


Рисунок 1. Схема синтеза амфифильных молекулярных щеток

УДК 547.995.15: 615.281.9

## ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА КИНЕТИКУ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ

**Снетков П.П.<sup>1,2,2</sup>, Шайкенов Р.О.<sup>1</sup>, Климшина В.И.<sup>1</sup>, Морозкина С.Н.<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, Лит. А;

<sup>2</sup> ИВС РАН, 199004, Санкт-Петербург, В.О. Большой пр. 31;

<sup>3</sup> ФГБУ «СПб НИИФ» Минздрава России, 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4.

E-mail: ppsnetkov@itmo.ru

Бактериальные инфекции и их осложнения, особенно сопровождающие вирусные заболевания, являются одной из нерешенных глобальных проблем, приводящих к гибели людей. Так, в 2019 году было зарегистрировано около восьми миллионов смертей, связанных с осложнениями бактериальных инфекций. Известно, что патогены обладают собственным защитным механизмом повышения устойчивости к антибактериальным фармацевтическим препаратам, поэтому разработка новых высокоэффективных субстанций и препаратов является важной задачей современной медицинской химии.

Природные биологически активные вещества (БАВ), в частности, полифенолы и их производные, обладают уникальным набором биологических, антибактериальных, противовирусных, противовоспалительных свойств, при этом практически не вызывают побочных эффектов. Однако такие агенты в исходном состоянии имеют гидрофобную природу, что приводит к низкой биодоступности и, соответственно, эффективности. Инкапсуляция таких молекул в полимерные матрицы является одним из самых доступных и эффективных методов, направленных на повышение растворимости и биодоступности активного соединения, а также для обеспечения его пролонгированного высвобождения. Биополимеры, такие как полисахариды, являются ключевыми материалами для создания полимерной матрицы-носителя препаратов благодаря своей биосовместимости и биodeградиремости.

В данной работе представлены результаты исследования *in vitro* влияния молекулярной массы гиалуроновой кислоты, как носителя БАВ, на кинетику и профиль высвобождения природных полифенольных биологически активных соединений из полимерной матрицы в модельную среду. Полученные результаты имеют высокую практическую значимость и после проведения дополнительных исследований *in vitro* и *in vivo* могут быть рекомендованы для использования в качестве высокоэффективных терапевтических средств, в том числе, антибактериальных.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, номер проекта 24-23-00269. Ссылка на информацию о проекте: <https://rscf.ru/project/24-23-00269/>

УДК 541.64

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОДЕСТРУКЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ СУПЕРАБСОРБЕНТОВ

Сорокин А.В., Журавлев И.А., Лавлинская М.С.

*Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Университетская пл. 1*

Суперабсорбирующие материалы (САПы) — это сшитые трехмерные полимерные сетки, способные поглощать значительные объемы жидкости (до тысяч раз по отношению к массе полимера). В настоящее время широкое распространение такие материалы получили при создании одноразовых гигиенических средств, а также в сельскохозяйственной сфере. Наиболее успешные коммерчески используемые типы САПов производятся основе акрилатов и включают в своем составе полиакриловую кислоту и ее соли, полиакриламид и полиакрилонитрил [1]. По прогнозам, из-за постоянно растущей численности мирового населения и среднего возраста людей рынок САПов будет увеличиваться со среднегодовым темпом роста 7.4% [2]. С ростом количества потребляемых САПов происходит стремительное накопление отходов таких материалов, обусловленное длительным периодом разложения сшитых акрилатных полимеров, являющихся основой коммерческих САПов. В настоящее время появляется большое число работ по созданию композиционных суперабсорбентов – сочетающих в своем составе как биodeградируемые звенья, так и синтетические акрилатные, такое сочетание должно способствовать биodeградации продукта и снижать экологическую нагрузку на окружающую среду [2]. Однако на данный момент отсутствуют комплексные исследования зависимости процесса биodeструкции САПов от состава композиционных полимеров и наличия дополнительных компонентов

В работе проведено исследование процесса деструкции композиционных суперабсорбентов с различным содержанием биodeградируемого компонента – натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, а также акрилатного САПа, не содержащего биodeградируемых звеньев – аналога большинства коммерческих продуктов под действием почвенных бактерий *Bacillus subtilis*. В результате эксперимента установлено, что скорость деструкции композиционных САПов зависит от концентрации полисахаридных звеньев, при этом скорость деструкции САПа, не содержащего полисахариды, значительно ниже. Полученные результаты могут быть полезны как для рациональной эксплуатации существующих САПов, так и для разработки новых материалов, например, умных удобрений.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-74-20053

### Ссылки

[1] Sorokin A. A new approach to increasing the equilibrium swelling ratio of the composite superabsorbents based on carboxymethyl cellulose sodium salt / A. Sorokin, P. Sukhanov, V. Popov [et al.] // Cellulose. – 2022. – Vol. 29, No. 1. – P. 159-173.

[2] Chen J. Superabsorbent Polymers: From long-established, microplastics generating systems, to sustainable, biodegradable and future proof alternatives / J. Chen, J. Wu, P. Raffa [et al.] // Prog. Polym. Sci. – 2022. – Vol. 125. – 101475.

УДК 544.478.41

## СЕЛЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ИНДИЯ ДЛЯ ГИДРИРОВАНИЯ CO<sub>2</sub> В МЕТАНОЛ: РОЛЬ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ

**Сорокина С.А.<sup>1</sup>, Кучкина Н.В.<sup>1</sup>, Григорьев М.Е.<sup>2</sup>, Сульман М.Г.<sup>2</sup>, Шифрина З.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва, ул. Вавилова, д.28*

<sup>2</sup> *Тверской государственный технический университет, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д.22  
E-mail:sorokinas@ineos.ac.ru*

Эффективное преобразование CO<sub>2</sub> в продукты тонкой химии имеет большое экономическое и экологическое значение. Недавние исследования показали перспективность использования катализаторов на основе индия для этих целей [1]. Однако, несмотря на их высокую активность, такие катализаторы показывают структурную нестабильность в ходе реакции, а также низкую селективность [2].

В настоящем исследовании разработана новая стратегия, позволяющая значительно повысить стабильность, а также селективность биметаллических магнитно-отделяемых катализаторов на основе индия, путем нанесения слоя разветвленного пиридилфениленового полимера (ПФП). Селективность образования метанола, регулируемая ПФП, достигала 98,5 %, тогда как в отсутствие ПФП наблюдалось формирование значительного количества метана, в результате чего селективность падала до 70,2%. Наряду с настройкой селективности была установлена важная роль ПФП в обеспечении высокой стабильности, повышении сорбции CO<sub>2</sub>, а также защите In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от агрегации и восстановления, являющихся основными причинами падения активности. В результате активность разработанных катализаторов практически в двенадцать раз превысила активность коммерческого аналога на основе меди, а выдающаяся стабильность позволила использовать катализаторы в 6 последовательных циклах без потери активности [3].

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 22-43-02025.

### Ссылки

[1] Cao A., Wang Z., Li H., Nørskov J.K. Relations between Surface Oxygen Vacancies and Activity of Methanol Formation from CO<sub>2</sub> Hydrogenation over In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Surfaces // ACS Catalysis. – 2021. Vol. 11, № 3. – P. 1780-1786.

[2] Tsoukalou A., Abdala P.M., Stoian D., Huang X. et. al. Structural Evolution and Dynamics of an In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst for CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Methanol: An Operando XAS-XRD and In Situ TEM Study // J. Am. Chem. Soc. – 2019. Vol. 141. – P. 13497–13505.

[3] Sorokina S.A., Kuchkina N.V., Mikhilchenko A.V., Doluda V.Yu, Shifrina Z.B. Highly Selective CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Methanol over Complex In/Co Catalysts: Effect of Polymer Frame // Nanomaterials. – 2023. Vol. 13, № 23. – E. 2996.



УДК 001.894, 347.77, 347.778

## МИНИМАЛИЗАЦИЯ РИСКОВ УТЕРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОДУКТОВ

**Тузова С.Ю., Полякова А.А., Клочкова Е.О.**

*ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС),  
г. Москва, Россия, Бережковская наб., д. 30, корп. 1  
E-mail: svetlana.tuzova@rupto.ru*

Уникальный высокотехнологичный продукт всегда привлекает к себе пристальное внимание как со стороны коллег, работающих в той же или смежных областях, так и участников рыночного процесса, заинтересованных в удержании рыночных ниш собственными продуктами. В связи с этим уже на первых этапах выявления потенциальной перспективности разрабатываемого продукта необходимо заботится об охране своего технического решения от несанкционированной утечки информации.

На разных стадиях разработки продукта существуют различные ограничительные меры по охране технического решения, которые зависят прежде всего от сущности и технических аспектов разработки. Так, в области полимерной химии продукты, как правило, являются не только индивидуальными объектами, а имеют композиционный состав, который требует комплексного решения для построения его надежной охраны. Например, легко выявляемые составы основного и вспомогательного продукта предпочтительно охранять с помощью нескольких взаимосвязанных патентов, а патентование трудно выявляемых технологических режимов частично дополнять охраной в виде ноу-хау. В случае патентования композиционных полимерных продуктов особо важным является выделение и использование в формуле изобретения характеристик продукта (индикаторов технологии), которые могут быть легко выявлены при отслеживании нарушения прав на интеллектуальную собственность. Были обнаружены и систематизированы уязвимости формулы изобретения, характерные для разработчиков в области полимерных материалов. Другим важным аспектом является выделение и охрана всех элементов (компонентов/частей/фрагментов), входящих как в ключевые, так и периферийные продукты и распределения их по объектам охраны в нескольких патентных документах. Так, например, одной из самых распространенных ошибок разработчиков является объединение в одном патентном документе нескольких объектов охраны – например, состав (структура) основного полимера, технология его получения и периферийные составы продуктов с его использованием. Существуют эффективные стратегии патентования продуктов во временном диапазоне (этапам) разработки ключевых и вспомогательных продуктов, позволяющие к моменту коммерциализации конечного продукта не только использовать патенты в качестве инструмента по извлечению максимальной прибыли из разработки, но и повысить привлекательность продукта как для инвесторов, так и для производителей продукта.

УДК 54138, 544.353.3

## ПРЕОДОЛЕВАЯ ГИДРОФОБНОСТЬ - ПОЛИМЕРНЫЕ ПАВ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ВОДЕ

**Фетин П.А., Кадников М.В., Фетина В.И., Лезов А.А., Солунина А.А., Сеньчукова А.С., Филиппова С.С., Зорин И.М.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9  
E-mail: p.fetin@spbu.ru*

В работе получены новые гребнеобразные полиэлектролиты на основе кватернизованных сложных эфиров 11-бромундеканола и акриловой кислоты. Эти соединения обладают низкими критическими концентрациями ассоциации (менее 0.0001M) и способны к солюбилизации малополярных веществ даже при таком сильном разбавлении. Реализованный в работе молекулярный дизайн структурного повторяющегося звена гребнеобразного полиэлектролита направлен на выявление ключевых отличий полученных полимерных поверхностно-активных веществ от низкомолекулярных ПАВ, а также на разработку функциональных материалов на их основе. Эти соединения были протестированы в качестве мицеллярных катализаторов реакций гидролиза сложных эфиров органических и фосфорных кислот (для некоторых катализаторов наблюдается ускорение в 10-100 раз в сравнении с реакцией гидролиза в воде в отсутствие катализатора). Гребнеобразные полиэлектролиты оказались эффективны не только в мицеллярно-каталитических реакциях, направленных на деструкцию молекул, ускорение которых достигается в основном за счет локального концентрирования субстрата и реагента по механизму солюбилизации и ионного притяжения, но и в конструктивных органических реакциях, где важными становятся способность стабилизации переходных состояний и стерические эффекты в мицеллярной псевдофазе. Ключевое внимание в докладе будет уделено изучению особенностей протекания реакции сочетания Сузуки и Хека, катализируемой хлоридом палладия в воде, где гребнеобразный полиэлектролит выполняет роль со-катализатора.

Варьируя тип ионной группы и природу противоиона, длину гидрофобного спейсера между полярной группой и полимерной цепью, а также вводя функциональных добавок на стадии синтеза полиэлектролита, можно управлять каталитической активностью этих соединений и оптимизировать структуру катализатора для выбранных органических реакций, используя воду как основной растворитель. Разработка такой гребнеобразной платформы полностью соответствует концепции устойчивого развития и 12 принципам Зеленой химии.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10132, <https://rscf.ru/project/21-73-10132/>.

Авторы благодарны Центру магнитно-резонансных методов исследования вещества, Криогенному отделу.

## ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ЛАКТИДА И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

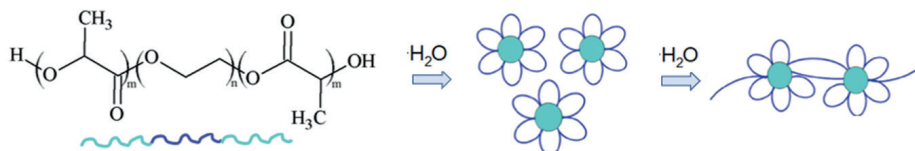
**Фомина Ю.С.<sup>1</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, 117393 ул. Профсоюзная 70  
E-mail: ledy\_uylia-98@mail.ru*

Гидрогели – мягкие и эластичные системы схожие с нативными тканями организма, состоящие, как правило, из трехмерной сетки высокомолекулярного соединения и воды. В физиологических условиях такие материалы проницаемы для метаболитов и способны удерживать достаточное количество воды, что делает их перспективными материалами для многих биомедицинских применений: адресная доставка лекарственных препаратов, тканевая инженерия, регенеративная медицина и т.д.

В настоящей работе была синтезирована серия тройных блок-сополимеров лактида и этиленгликоля в растворе толуола при температуре 130 °С. В качестве катализатора использовали 2-этилгексаноат олова (II). В данной серии варьировали следующие параметры: соотношение гидрофильного (PEG) и гидрофобного (PLA) блоков, конфигурацию блока полилактида, степень кристалличности. На основе синтезированных блок-сополимеров были получены гидрогели методом замены органического растворителя (1,4-диоксан) на дистиллированную воду. Вследствие амфифильной природы PLA-PEG-PLA в водной фазе происходит агрегация блока PLA, а за счет проходных цепей PEG формируется физическая сетка гидрогеля (рис. 1).



**Рисунок 1.** Процесс самоорганизации тройных блок-сополимеров лактида и этиленгликоля

Полученные гидрогелевые материалы были исследованы методами рентгеновского рассеяния («КИСИ-Курчатов») и механического анализа. Установлено, что кристалличность гидрофобного блока существенно влияет на физико-механические характеристики гидрогелей. С увеличением длины гидрофобного блока и степени кристалличности сополимера возрастает модуль упругости, для некоторых образцов значения составляют свыше 100 кПа, что является рекордным значением для подобных систем.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии № 075-15-2023-324 от 21 февраля 2023 г.

УДК 691.175

## МЕХАНИЗМ УСИЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ КРЕМНЕЗОЛЕЙ В ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ

**Хантимиров А.Г., Абдрахманова Л.А., Сучкова Е.А., Мурсалимова Д.Р.**

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
Казань, ул. Зеленая, 1  
E-mail: khantimirov94@mail.ru*

В последние годы рынок древесно-полимерных композитов (ДПК) активно расширяется в области строительства благодаря уникальным свойствам, объединяющим положительные характеристики полимеров и древесины (устойчивость к гниению, поражению грибков и плесени, растрескиванию, внешним атмосферным воздействиям и т.д.).

С точки зрения эксплуатационных свойств наиболее приемлемым полимером для ДПК является поливинилхлорид (ПВХ), который выгодно отличается от полиэтилена и полипропилена высокими физико-механическими свойствами [1]. Но, несмотря на это, ключевой проблема всех ДПК заключается в снижении прочности при совмещении полимерной матрицы с древесными наполнителями, поэтому эти композиты нуждаются в усилении данной межфазной зоны.

При производстве ДПК независимо от вида полимера используют связующие агенты, улучшающие совместимость органического наполнителя и полимерной матрицы. Широко были изучены добавки на основе углеродных и кремнеземистых структур. Ранее в работах [2,3] в качестве связующего агента для ДПК-ПВХ был использован один вид кремнезоля, стабилизированный катионом  $\text{Na}^+$ . В них были даны объяснения возможного механизма усиливающего действия в данных композитах.

В данной работе в качестве связующих агентов для поливинилхлоридных ДПК были использованы кремнезоли, отличающиеся величиной рН, содержанием кремнезема, вязкостью золей и видом стабилизирующего иона.

Представлены результаты исследований, направленные на уточнение механизма действия разных видов кремнезольей в качестве связующих агентов для ДПК-ПВХ в зависимости от их физико-химических параметров и особенностей протекания перехода «золь-гель».

### Ссылки

- [1] Мацеевич Т.А. Механические свойства террасной доски на основе полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 24. № 3. С. 48-59.
- [2] Абдрахманова Л.А. и др. Наномодификация древесной муки золями кремниевой кислоты // Нанотехнологии в строительстве. 2012. № 3. С. 56-67.
- [3] Хантимиров А.Г. и др. Влияние модификации на долговечность поливинилхлоридных древесно-полимерных композитов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т.65. № 3. С. 26-35.

УДК 539.199; 544.777

## ЛИНЕЙНЫЕ И РАЗВЕТВЛЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(2-ОКСАЗОЛИНОВ): КОНФОРМАЦИЯ И СВОЙСТВА В РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРАХ

**Цветков Н.В.,** Губарев А.С., Лезов А.А., Перевязко И.Ю., Микушева Н.Г., Зорин И.М.

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
E-mail: n.tsvetkov@spbu.ru*

Линейные поли(2-оксазолины), а также гребнеобразные и разветвленные полимерные структуры на их основе, вызывают повышенный интерес ввиду возможности заменить ими такие классические биосовместимые гомополимеры как поли(этиленгликоль), поли(N-винилпирролидон) или поли(гидроксипропилметакрилат). При разработке новых полимерных терапевтических средств необходимы детальные сведения о конформационных свойствах макромолекул, прежде всего в физиологических условиях, так как эти характеристики имеют решающее значение при доставке лекарств. Нами были исследованы два гомологических ряда поли-2-метил и поли-2-этил оксазолинов в очень широком интервале молярных масс в фосфатно-солевом буфере при 37°C. Определены основные конформационные параметры полимерных цепей, а именно длина сегмента Куна и эффективный гидродинамический диаметр, которые оказались близки для обоих полимеров и составляют  $A = 1,8 \pm 0,3$  нм и  $d = 0,6 \pm 0,3$  нм в физиологических условиях. Детально исследованы конформационные изменения макромолекул при вариации температуры и установлено, что наиболее резко эти параметры меняются для поли-2-этил-оксазолинов, которые обладают нижней критической температурой смешения.

Также мы исследовали термочувствительные звездообразные тиакаликс[4]арены с ветвями поли(2-этил-2-оксазолина) и поли(2-изопропил-2-оксазолина). Было установлено, что в тетрагидрофуране изученные звездообразные полимеры присутствуют в виде индивидуальных макромолекул, а в водных растворах, помимо отдельных макромолекул были обнаружены крупные полимерные агрегаты, супрамолекулярная организация которых была изучена методами динамического рассеяния света и малоуглового рассеяния нейтронов.

Новые пуллулан-графт-поли(2-метил-2-оксазолины) были исследованы комплексом методов молекулярной гидродинамики и оптики, а также ЯМР. Обнаружено, что образованию привитых сополимеров сопутствует окислительная дегградация цепей пуллулана. Привитые сополимеры были получены с различной длиной боковых цепей и степенью замещения, а их конформационные характеристики детально изучены в разбавленных растворах.

### Благодарность

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-13-00187, <https://rscf.ru/project/22-13-00187>)



УДК 547.992+546.11.027\*3

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНЫХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

**Чернышева М.Г., Тришкин Г.Н., Савельев Д.Е., Куликова Н.А., Бадун Г.А.**

*МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д.1., 119991*

*E-mail: chernyshevamg@my.msu.ru*

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой сложные органические соединения, образующиеся в окружающей среде как продукт биodeградации организмов. ГВ, подобно некоторым другим макромолекулам слабо снижают поверхностное натяжение на границе раздела раствор-воздух, при этом наличие у них гидрофобного ядра и гидрофильной периферийной компоненты обеспечивают их поверхностную активность. Показано, что ГВ способны адсорбироваться на границе раздела фаз жидкость-жидкость [1]. Для этого исследования с помощью метода термической активации трития в ГВ была введена радиоактивная метка и использован метод жидкостной сцинтилляционной спектromетрии в варианте сцинтиллирующей фазы для непосредственного определения количества вещества на границе раздела фаз.

В данном исследовании метод сцинтиллирующей фазы был дополнен измерением поверхностного натяжения на границе раздела фаз раствор ГВ - органическая фаза. Измерение поверхностного натяжения проводили с помощью метода висящей капли используя двухфазные системы после анализа с помощью сцинтиллирующей фазы, то есть органическая фаза была полностью уравновешена с водной фазой. В работе исследовано влияние рН и ионной силы раствора на адсорбцию ГВ на границе раздела фаз раствор – толуол. В работе использованы окисленное производное лигнина (ООО «Нобель»), а также ГВ: гуминовые кислоты угля (Powhumus), гуматы калия «Сахалинский гумат», «Иркутский гумат».

Для концентрационных зависимостей наблюдалась тенденция: чем выше концентрация ГВ на границе раздела фаз, тем ниже поверхностное натяжение. Для всех исследуемых веществ показано, что в отсутствие высокой ионной силы адсорбция на границе раздела фаз раствор-толуол выше при рН < 4, в области рН от 5 до 10 практически не меняется и далее снижается при повышении рН. Увеличение ионной силы раствора за счет добавки электролитов приводит к увеличению адсорбции ГВ, в том числе в области нейтральных и щелочных значений рН.

### Ссылки

[1] Chernysheva M.G., Badun G.A., Kulikova N.A., Perminova I.V. Behavior of humic substances in the liquid-liquid system directly measured using tritium label// Chemosphere. 2020. V.238, Art # 124646

### Благодарность

Работа выполнена в рамках гос.задания № 122012600116-4 «Получение и использование радионуклидов и меченных соединений для целей ядерной медицины, изучения биологически значимых процессов и взаимодействия живых организмов с ионизирующим излучением»

УДК 547.458.81

## ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ И СОДЕРЖАНИЯ ВИНИЛАЦЕТАТА СЭВА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ БИОКОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ, С ПРИРОДНЫМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

**Шеленков П.Г.<sup>1</sup>, Пантюхов П.В.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>, Меняк Д.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля  
Российской академии наук, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова»,  
г. Москва, Стремянный переулок, д. 36, E-mail: shell1183@mail.ru

Для решения проблемы совместимости целлюлозосодержащих наполнителей с полиолефинами, предлагается вводить в состав композиций компатибилизаторы, вещества, которые являются связующими между матрицей и наполнителем в биокompозите. Причем для получения оптимального комплекса физико-механических свойств, предлагается сначала создавать суперконцентрат на основе компатибилизатора и природного наполнителя, а затем вводить его в полиолефиновую смесь. В данной работе изучены суперконцентраты на основе СЭВА и природных наполнителей: древесной муки (ДМ) и микрокристаллической целлюлозы (МКЦ). Создавались биокompозиты с содержанием наполнителей 50, 60 и 70 масс. %. Было изучено влияние молекулярной массы, которая связана с показателем текучести расплава (ПТР) и содержания винилацетата в СЭВА на деформационно-прочностные свойства высоконаполненных биокompозитов. Установлено, что:

1. При уменьшении ПТР исходного СЭВА со 150 до 5 г/10 мин, прочность композиции с наполнением до 50 масс. % увеличивается примерно на 35 %, а удлинение вырастает на порядок.
2. При увеличении содержания винилацетата в исходном СЭВА с 15 до 28%, также на порядок увеличивается относительное удлинение, при этом прочность падает примерно на 20%.
3. Найдена линейная зависимость, связывающая ПТР исходной марки СЭВА с максимальной прочностью и деформацией при разрыве высоконаполненных композиций на основе ДМ и МКЦ.

Предыдущие исследования разработанных высоконаполненных биокompозитов представлены в работах [1, 2].

### Ссылки

- [1] Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Poletto M., Popov A.A. *Polymers*. 2023; 15(12), 2639. DOI: 10.3390/polym15122639  
[2] Pantyukhov P.V., Shelenkov P.G., Khaidarov B.B., Popov A.A. Evaluation of biocomposites' defectiveness, the effect of defectiveness on water absorption В книге: ASAM-8. The 8th Asian Symposium on Advanced Materials. Book of Abstracts. Новосибирск, 2023. С. 470-471.

УДК 541.64

## КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛЕНДИОКСЕПАНОВ

**Алиев Э.Э., Заремский М.Ю., Пуханова Е.В., Гулюкина Н.С., Зайцев М.О.**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, химический факультет, Москва  
E-mail: elvin.aliev.1996@Inbox.ru*

В последние годы экологическая повестка становится все более значимой и актуальной, а значит интерес к биоразлагаемым полимерам и их востребованность сильно возрастает. Одним из основных способов получения таких разлагаемых полимеров заключается в радикальной сополимеризации виниловых мономеров с кетенацеталами, однако в научной литературе практически нет сведений о кинетике и механизме радикальной полимеризации подобных циклических соединений.

В настоящей работе синтезированы мономеры 2-метилен-1,3-диоксепан (МДО) и 5,6-бензо-2-метилен-1,3-диоксепан (БМДО) [1-2]. Изучена радикальная полимеризация кетенацетала МДО и БМДО в массе и растворе бензола при температурах 70 и 125 °С с использованием инициаторов 2,2-азо-бис-изобутиронитрил (ДАК) и ди-трет-бутилпероксид (ДТБП). Методом спиновых ловушек с использованием ЭПР изучен механизм роста цепи МДО и БМДО, определены значения константы скорости раскрытия цикла в интервале температур 70-125°С.

С помощью изотермической калориметрии определены значения теплот полимеризации МДО и БМДО, эффективность и скорость инициирования. Высокое значение  $Q$  обусловлено тем, что оно складывается из двух составляющих экзотермических процессов: раскрытие двойной связи мономера и непосредственно раскрытие самого цикла. С использованием полученного значения  $Q$  изучена кинетика полимеризации МДО в различных условиях, определены порядки скорости полимеризации по мономеру.

Сочетанием методов изотермической калориметрии и ЭПР показано, что полимеризация МДО с участием ТЕМПО характеризуется либо полным ингибированием реакции, что наблюдается при соотношении  $[ТЕМПО]/[Инициатор] \geq 1$ , либо полимеризация идет после падения концентрации свободного нитроксила до значения  $\approx 2 \times 10^{-3}$  М при условии  $[ТЕМПО]/[Инициатор] < 1$ .

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (No 23-23-00147)

### Ссылки

- [1] Zhu P. C., Lin J., Pittman Jr C. U. Preparation of monoacetylated diols via cyclic ketene acetals //The Journal of Organic Chemistry. – 1995. – Т. 60. – №. 17. – С. 5729-5731.  
[2] Felpin F. X. et al. Rearrangement of alpha-amino cyclopropanone hydrate: a novel route to labeled amino acids //The Journal of Organic Chemistry. – 2001. – Т. 66. – №. 1. – С. 305-308.

УДК 691.175.5/8

## ЧАСТИЦЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ КАК МОДЕЛЬ БИОДЕГРАДИРУЕМОГО МИКРОПЛАСТИКА

**Бадикова А.Г., Скрыбыкина М.Р., Ефимова А.А., Ярославов А.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Москва, 119991, Ленинские горы, д. 1, стр.3  
E-mail: badikovaag@my.msu.ru*

Накопление микропластика (МП) в окружающей среде является актуальной проблемой. При разложении полимеров под воздействием внешних факторов возникают разнообразные по форме и размеру частицы с «развитой» поверхностью, которые могут адсорбировать и переносить токсичные вещества. Именно с этим связывают потенциально вредное воздействие МП. В последнее время ведутся интенсивные работы по созданию новых материалов с использованием биоразлагаемых полимеров. В этом случае частицы, которые могут быть классифицированы как МП, появляются достаточно быстро в окружающей среде. Очевидно, что загрязнение поверхности частиц биodeградируемого МП может существенно замедлять скорость его разложения. Исследования процессов биодеструкции таких частиц в настоящее время практически не ведутся. Поэтому сейчас важно найти модельные системы соответствующего состава, размера и морфологии, исследовать физико-химические аспекты взаимодействия таких частиц с различными «загрязнителями» и изучить влияние адсорбированных веществ на скорость биодеструкции.

В качестве модельных частиц биodeградируемого МП были использованы частицы кристаллической целлюлозы. Было показано, что средний гидродинамический диаметр данных частиц находится в диапазоне от 300 до 800 нм, при этом они проявляют агрегативную устойчивость в течение длительного времени. Кроме того, было установлено, что частицы обладают отрицательным зарядом, и была проведена оценка концентрации заряженных групп на их поверхности. Частицы целлюлозы были модифицированы «загрязнителем» – катионным полимером, каустиамином, используемым для очистки сточных вод. Исследовано влияние «загрязнителя» на скорость биодеструкции частиц под действием ферментов – целлюлазы и протеолитического комплекса Морикраза.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках проекта: “Современные проблемы химии и физико-химии высокомолекулярных соединений” (госбюджет, номер АААА-А21-121011990022-4).

УДК 691.175:625.7

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОРЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА АРМИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

**Власов В.В., Куликова К.А.**

*Ярославский государственный технический университет,  
Ярославль, Московский пр-кт 88  
E-mail: Vlasovvv@ystu.ru*

Повышение долговечности и увеличение несущей способности автомобильных дорог является одной из приоритетных отраслевых задач, решение которой невозможно без применения новых материалов и технологий. Наиболее перспективным направлением решения данной задачи, является применение геосинтетических материалов для армирования дорожных одежд. В работах [1,2] проведены обзоры таких материалов и перечень требований к ним, которые показали необходимость применения армирующего слоя на основе полимерных композиционных материалов, обеспечивающих требуемые параметры различных конструктивных слоев дорожных одежд. Однако, немаловажным фактором является геометрия структурной ячейки самого изделия. Для достижения высоких показателей армирования была предложена и исследована новая инновационная 3D-георешетка [3]. Опытные образцы, распечатанные на 3D принтере из PETG пластика, показали низкую механическую повреждаемость и высокую степень заклинивания каменного материала. Благодаря инновационной геометрии - наличию объемных ребер в конструкции, повышается жесткость и износостойкость армирующего материала. Эксперименты по снижению себестоимости изделия за счет внедрения вторичного пластика, полученного по методике [4] не дали ожидаемого положительного эффекта. Таким образом, основная задача дальнейших исследований состоит в подборе материалов и технологий изготовления армирующей 3D-георешетки, обеспечивающей удовлетворительные ценовые и повышающие эксплуатационные характеристики автомобильных дорог.

### Ссылки

- [1] Игнатъев А.А., Куликова К.А., Дудин В.М. К вопросу об эффективности армирования покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог георешетками, изготовленными из различных геосинтетических материалов // Дороги и мосты. – 2018. – № 1(39). – С. 5.
- [2] Куликова, К. А. Оценка повреждаемости плоских и пространственных георешеток при армировании материалов конструктивных слоев дорожной одежды / К. А. Куликова, А. А. Игнатъев // Дороги и мосты. – 2023. – № 1(49). – С. 33-53.
- [3] Куликова, К. А. Альтернативные способы изготовления инновационной 3D-георешетки / К. А. Куликова, А. А. Игнатъев // Молодые ученые - развитию НТИ (ПОИСК). – 2022. – № 1. – С. 327-329
- [4] Власов В.В., Исаев А.Н., Шалыгина Т. А., Воронина С. Ю. Технология получения филамента для 3D печати из вторичного полиэтилентерефталата // Пластические массы. – 2022. – № 7-8. – С. 48-50. – DOI 10.35164/0554-2901-2022-7-8-48-50.



УДК 615.477.8

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ВУЛКАНИЗУЮЩЕГО АГЕНТА НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ КАУЧУКА БНКС-40

**Власов В.В.**<sup>2</sup>, Пушница А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МИРЭА-Российский технологический университет, Москва, пр. Вернадского, 78

<sup>2</sup> Ярославский государственный технический университет,

Ярославль, Московский пр-кт 88

E-mail: apushnitsa@inbox.ru

Разработка материалов с высокими эксплуатационными характеристиками, в том числе и по масло- бензостойкости для применения в условиях экстремально низких температур, является одной из приоритетных задач резиновой промышленности, особенно для освоения Арктики. В научных публикациях по вопросам создания морозостойких резин, часто встречаются вулканизирующие системы, состоящие из серы/тиурама и ускорителей [1-3]. При этом недостаточно изучено влияние пероксидных агентов вулканизации на низкотемпературные свойства, хотя такие данные могут иметь практическое значение. Целью работы являлось повышение низкотемпературных характеристик резин на основе бутадиен-нитрильного каучука высокой полярности торговой марки БНКС-40 АМН. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид марки Luperox F-40 (в количестве от 1 до 10 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) и комбинация серы с ускорителем. Согласно результатам исследования, материалы, в которых агентом вулканизации выступает органический пероксид, демонстрируют улучшение комплекса физико-механических свойств по сравнению с вулканизатами, содержащими серу [4]. Кроме того, было установлено положительное влияние механоактивации пероксида перед введением его в резиновую смесь: отмечалось снижение температурного предела хрупкости вулканизатов и значительное улучшение значения ОДС.

### Ссылки

- [1] Пушница А. С., Власов В.В., Черепанов А.Н. Влияние вулканизирующей группы на прочностные свойства эластомерных материалов при многократных деформациях в условиях низких температур // Решетневские чтения. – 2022. – С. 751-753.
- [2] Огарев, И. С., Соловьева, О. Ю., Власов, В. В., Гудков, С. В. Повышение морозостойкости композитов на основе поливинилхлорида с высокомолекулярным пластификатором // 74 НТК студ., маг. и асп. высших учебных заведений с международным участием. – 2021. – С. 211-214.
- [3] Соколова М. Д. Эластомерные нанокомпозиты уплотнительного назначения для экстремальных условий эксплуатации в зонах с холодным климатом : дис. – Комсомольск-на-Амуре гос. техн. ун-т, 2012.
- [4] Пушница А.С., Власов В.В., Горшкова, А.В., Черепанов А. Н. (2023). Влияние состава агентов вулканизации на свойства эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков. // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии. – 2022. – С. 124-126

УДК 541.64

## НОВЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КАРБОРАНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РУТЕНИЯ(II) И (III)

Князева Н.А., Зимина А.М., Гришин И.Д.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, 23  
E-mail: grishin\_i@ichem.unn.ru

Радикальная полимеризация по механизму с переносом атома является одной из широко используемых и перспективных методологий получения полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками. Катализаторами этого процесса выступают комплексные соединения переходных металлов, главным образом, меди и рутения. В настоящей работе приведены результаты исследований каталитической активности недавно синтезированных карборановых комплексов рутения(II) и (III) различного строения (рис. 1) в полимеризации метилметакрилата (ММА), инициированной четыреххлористым углеродом.

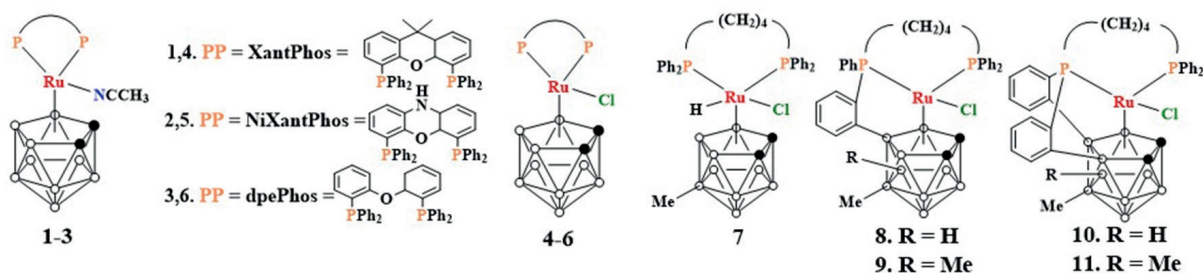


Рисунок 1. Структурные формулы карборановых комплексов рутения(II) и (III)

Показано, что комплексы рутения способны инициировать полимеризацию при введении в концентрации 0.01 мол.%. Наилучший контроль над процессом достигается при использовании каталитических систем на основе рутенакарборанов с дифосфиновыми лигандами, содержащих *ortho*-фениленциклоборированные фрагменты и заместители в нижнем поясе карборановой корзины (8 – 11). Наряду с ними высокую эффективность показали комплексы 1 и 4 с лигандом XantPhos. Наблюдается соответствие молекулярной массы полимеров теоретически рассчитанным значениям и снижение значений дисперсности с ростом конверсии ММА. Протекание процесса в контролируемом режиме подтверждается наличием на концах полимерных цепей атомов хлора, обнаруженных методом времяпролетной масс-спектрометрии. В работе также отмечено, что рутенакарбораны с тридентатными фосфиновыми лигандами не способны проявлять высокую каталитическую активность в полимеризации с переносом атома ввиду высокой стабильности в условиях процесса.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (базовая часть госзадания, проект № FSWR-2023-0025).

УДК 541(135+64+183)

## АМФИФИЛЬНЫЕ ГРЕБНЕОБРАЗНЫЕ ПОЛИМЕРЫ. ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В МИЦЕЛЛЯРНОМ КАТАЛИЗЕ

**Кадников М.В., Фетин П.А., Зорин И.М., Цветков Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9  
E-mail: mkadnikov199991@gmail.com*

В последнее время одним из основных направлений в области Зелёной химии является проведение органических реакций в воде. Это обусловлено тем, что вода является наиболее доступным и безопасным растворителем на Земле. Один из перспективных методов для таких реакций заключается в использовании поверхностно-активных веществ, мицеллы которых способны удерживать в себе малорастворимые в воде компоненты реакции и катализаторы, что приводит к повышению их концентрации и, следовательно, к ускорению реакции. Этот подход к проведению органических реакций относится к области мицеллярного катализа, который разрабатывается как стратегия, заменяющую необходимость диспергирования липофильных веществ в водной среде. В мицеллярных водных средах могут осуществляться многие органические реакции, при этом достигается их ускорение.

При использовании низкомолекулярных поверхностно-активных веществ для проведения органических реакций в воде исследователи сталкиваются с рядом проблем. Например, мицеллообразование низкомолекулярных ПАВ начинается только при достижении определенной критической концентрации, что требует значительного количества катализатора, в то время как полимерные амфифилы способны образовывать каталитически-активные агрегаты уже при крайне низких концентрациях. Вместе с этим гребнеобразная полимерная платформа предлагает широкие возможности для модификации, что открывает путь к тонкой настройке целевых свойств катализатора.

В рамках этой работы были синтезированы амфифильные гребнеобразные полимеры с различной структурой. Были исследованы их гидродинамические, конформационные и молекулярно-массовые характеристики. Изучено влияние этих веществ на протекание различных органических реакций в воде.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 21-73-10132. Авторы выражают благодарность Центру магнитно-резонансных методов исследования вещества, Криогенному отделу, РЦ Методы анализа состава вещества Санкт-Петербургского государственного университета.

УДК 661.717.6

## СИНТЕЗ ФЕНИЛИЗОЦИАНАТА БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСГЕНА

Третьякова Н.А.<sup>1</sup>, **Колычев Е.Л.**<sup>1</sup>, Сулимов А.В.<sup>1</sup>, Овчинников К.А.<sup>1</sup>,  
Сладковский Д.А.<sup>2</sup>, Мискина Д.<sup>2</sup><sup>1</sup>ООО «Газпромнефть-Промышленные инновации»,  
Санкт-Петербург, дорога В Каменку, д. 74, лит. А<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет),  
Санкт-Петербург, Московский просп., 24-26  
E-mail: gpnpi@gazprom-neft.ru

На промышленных предприятиях мировых держав в основном реализуются полные циклы синтеза изоцианатов, начиная от процесса нитрования ароматических углеводородов с получением нитросоединений, затем идет восстановление (гидрирование) нитросоединения до амина, далее амин фосгенируется с образованием изоцианата [1]. Актуальным направлением исследований является синтез изоцианатов без применения стадии фосгенирования. Востребованность исследований обусловлена серьезными экологическими проблемами, возникающими из-за применения фосгена для синтеза изоцианатов [2].

В целом, бесфосгенный синтез изоцианатов можно разделить на два пути [3]:

1. Получение изоцианатов в результате термического разложения эфиров *N*-замещенных карбаминовых кислот (карбаматов).
2. Метод прямого карбонилирования ароматических нитросоединений без стадии термолиза.

Основная проблема, затрудняющая внедрение метода получения изоцианатов из карбаматов в промышленности – это обратимость реакции разложения, поскольку при понижении температуры происходит присоединение изоцианатов к спирту.

В докладе представлены результаты синтеза фенилизотиоцианата методом прямого карбонилирования нитробензола оксидом углерода. Процесс представлен как модельный по изучению синтеза моноизоцианатов с возможностью перехода к синтезу диизоцианатов, таких как ТДИ и МДИ. Эксперименты проведены на лабораторной установке с трубчатым реактором с варьированием подачи реакционной смеси в реактор – верхней и нижней. В качестве катализаторов исследованы гомогенные и гетерогенные системы: Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % Sb/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; PdCl<sub>2</sub>.

В качестве лиганда и сокатализатора использовали в сравнении пиридин и фенантролин.

Пробы анализировали методом ИК-спектроскопии на приборе IRTracer-100 (Shimadzu) для выявления пика в области 2300 см<sup>-1</sup>, характерного для изоцианатной группы [3], и газовой хроматографией- масс-спектрометрией (ГХ-МС) на анализаторе GC-2010 Plus.

В результате получен выход фенилизотиоцианата. Об образовании изоцианата свидетельствуют видимые пики на ИК-спектре и на графике ГХ-МС. Установлены некоторые технологические параметры синтеза как неэффективные, которые следует исключить при получении диизоцианатов.

**Ссылки**

[1] In Industrial Arene Chemistry. Markets, technologies, sustainable processes and cases studies of aromatic commodities. Downloaded from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/> by Western University. - 2023. – 2244 p.

[2] Shinsuke Fukuoka, Masarumi Chono, Masashi Kohno. Isocyanate without phosgene. // Chemtech. – 1984. - № 14. – p.p. 670-676.

[3] Третьякова Н.А., Колычев Е.Л., Сулимов А.В., Овчинников К.А. Ключевые технологии синтеза изоцианатов без применения фосгена // Каучук и резина. – Т. 82, № 6. – 2023. – С. 304-309.

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

**Мухамедиев М.Г., Бекчанов Д.Ж., Ярманов Ш.Х.**

*Национальный университет Узбекистана, Ташкент, 100174, ул. Университетская 4  
E-mail: mtmukamediev@mail.ru*

В настоящее время очень много работ посвящено изучению сорбционных свойства отходов сельского хозяйства и продуктов их модификации. Рисовая шелуха также занимает значительное место среди сельскохозяйственных отходов [1]. В статье изучена возможность получения биосорбента из рисовой шелухи модификацией её мочевиной в водном растворе. Рисовая шелуха состоит из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина [2]. Гидроксильные группы в них при высокой температуре замещаются на оксиамидные, обладающие высокой комплексообразующей способностью. Данный ионообменный материал в дальнейшем был использован для извлечения ионов меди, свинца и никеля из водных растворов.

В таблице приведены значения динамической обменной емкости (ДОЕ) и полной обменной емкости (ПОЕ) биосорбента.

**Таблица**

Значения ДОЕ и ПОЕ биосорбента по ионам Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup>

F, мл/ мин	V,(пропущенный объем, мл)	V <sub>biosrbent</sub> , мл (объем сорбента)	ДОЕ, моль- экв/м <sup>3</sup>	ПОЕ, моль- экв/м <sup>3</sup>	α
Cu <sup>2+</sup>					
1	560	30	1033	1166	0,89
2	530	30	760	1035	0,75
3	510	30	633	839	0,76
Ni <sup>2+</sup>					
1	650	30	1033	1250	0,82
2	620	30	850	1033	0,79
3	600	30	667	983	0,68
Pb <sup>2+</sup>					
1	460	30	1033	1250	0,82
2	420	30	850	1033	0,79
3	390	30	667	983	0,68

### Ссылки

[1] Davronbek Bekchanov; Mukhtar Mukhamediev; Sherimmat Yarmanov; Peter Lieberzeit; Adnan Mujahid //Carbohydrate Polymers. – 2024. – 323.-121397. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121397>

[2] Davronbek Bekchanov, Mukhtar Mukhamediev, Davron Eshtursunov, Peter Lieberzeit, Xintai Su. //Polym Adv Technol. – 2024.- 35. – 1. -e6207  
<https://doi.org/10.1002/pat.6207>



УДК 678.4: 678.4.06

## АБСОРБИРУЮЩИЙ ПОЛИМЕР НА ОСНОВЕ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И АКРИЛАМИДА ДЛЯ ОГРАНИЧЕННО НАБУХАЮЩИХ РЕЗИН

**Накыш А.<sup>1</sup>, Черезова Е.<sup>1</sup>, Карасева Ю.<sup>1</sup>,  
Сорокин А.<sup>2</sup>, Лавлинская М.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Университетская площадь, 1  
E-mail: abdirakym1994@mail.ru

При разработке рецептур ограниченно набухающих резин для пакерного оборудования в качестве эластомерной матрицы наиболее часто используют бутадиен-нитрильный каучук. В качестве набухающих полимеров (НП) предлагаются натрий-карбоксиметилцеллюлоза (Na-КМЦ) и полиакриловые полимеры. Количество набухающего полимера варьируют в диапазоне от 50 до 250 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука. В ходе данной работы в качестве эластомерной матрицы использован бутадиен-нитрильный каучук марки БНКС-28 АМН. В качестве набухающего полимера использован опытный образец сополимера акриловой кислоты и акриламида (САкАм) [1], и промышленный продукт Полисел 9В, представляющий собой Na-КМЦ со степенью карбоксилирования 0,9. Базовую резиновую смесь (БРС) изготавливали по стандартной рецептуре для БНКС-28 АМН. Соотношение БРС и НП составляло 50:50 % мас. При замене 20% мас. Na-КМЦ на САкАм относительное удлинение при разрыве ( $\epsilon$ ) изменяется незначительно (табл. 1). При этом условная прочность образца при растяжении ( $f_p$ ) образца повышается от 3,3 МПа до 3,6 МПа, и снижается степень набухания резины в минерализованной хлоридно-натриевой воде (табл. 2). Отмечено, что равновесная степень набухания существенно зависит от степени минерализации.

Таблица 1 - Результаты физико-механических испытаний резины

Соотношение БРС:НП (по массе, %)	$f_p$ , МПа	$\epsilon$ , %
БРС (100:0)	17,6	500
БРС:Na-КМЦ (50:50)	3,3	450
БРС:Na-КМЦ: САкАм (50:40:10)	3,6	430

Таблица 2 - Степень набухания резины

Минерализованная вода (г/ дм <sup>3</sup> )	Степень набухания, %	
	БРС:Na-КМЦ	БРС:Na-КМЦ:САП
Cl <sup>-</sup> (176), Na <sup>+</sup> (94), Ca <sup>+2</sup> (16), $\rho=1160$ г/дм <sup>3</sup>	40,7	37,0
Cl <sup>-</sup> (110), Na <sup>+</sup> (59), Ca <sup>+2</sup> (11), $\rho=1100$ г/дм <sup>3</sup>	53,9	45,3
Cl <sup>-</sup> (139), Na <sup>+</sup> (70), Ca <sup>+2</sup> (11), Mg <sup>+2</sup> (3), $\rho=1157$ г/дм <sup>3</sup>	55,2	45,2
Дистиллированная вода, $\rho=1000$ г/дм <sup>3</sup>	321,8	308,9

### Благодарность

Работа выполнена в рамках тематики передовой инженерной школы «ПРОМХИМТЕХ»

### Ссылки

[1] Sorokin, A. A new approach to increasing the equilibrium swelling ratio of the composite superabsorbents based on carboxymethyl cellulose sodium salt / A. Sorokin, P. Sukhanov, V Popov, S. Kannykin, M. Lavlinskaya // Cellulose. – 2022, Vol. 29, – P. 159–173.

УДК 691.175.664

## ПОЛУЧЕНИЕ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПЭТФ

**Носков А.В.<sup>1</sup>, Панов Ю.Т.<sup>1</sup>, Потапочкина А.Ю.<sup>2</sup>, Ращупкина Д.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Владимирский государственный университет им. Столетовых, Владимир, ул. Горького, 87

<sup>2</sup> ООО «Владимирские Зеленые Технологии», Владимир, ул. Б. Нижегородская, 77

E-mail: noskov.vzteh@mail.ru

Вторичное применение синтетических материалов – один из ключевых вопросов современной химии и общества в целом. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) является одним из наиболее крупнотоннажных упаковочных материалов[1]. Существует огромное количество методов его вторичной переработки ПЭТФ, однако подавляющее большинство методов сводится к физической переработке, данные методы предъявляют высокие требования к исходному сырью и как следствие не допускают к переработке ПЭТФ с загрязнением например растительными маслами. В работе рассмотрен метод получения сложных полиэфиров для производства ППУ Двухстадийный процесс заключается в следующем: а) гликолиз вторичного ПЭТФ избытком диэтиленгликоля для полной деполимеризации и сохранением низкой вязкости полупродукта (не более 500 мПа\*с) для сохранения возможности фильтрации[2]; 2) этерификация полученного продукта фталевым ангидридом до достижения требуемой молекулярной массы (500-600) и гидроксильного числа (не более 300 мг КОН/г).

Исследована взаимосвязь изменения вязкости и гидроксильного числа с ростом молекулярной массы сложного полиэфира. Проведен сравнительный анализ полученного сложного полиэфира со сложными полиэфирами на основе диэтиленгликоля и фталевого ангидрида, производимых предприятиями РФ.

Отличительной особенностью данного метода является высокая воспроизводимость и низкие требования к исходному ПЭТФ. Получаемый сложный полиэфир может применяться для производства ППУ систем методом напыления, а при его модификации жирными карбоновыми для производства ПИР панелей.

### Ссылки

[1] Рзаев К./Форум CREON «Полимеры России», Москва, 2023 г.

[2] Носков А. В., Панов Ю. Т., Потапочкина А. Ю., Ращупкина Д. А. Получение сложных полиэфиров на основе вторичного ПЭТФ // «88-ая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов с международным участием», Минск, 2024 г.

УДК 536.92

**УПОРЯДОЧЕНИЕ В СИСТЕМАХ ПОЛИМЕРОВ С АКТИВНОЙ СИЛОЙ,  
НАПРАВЛЕННОЙ ВДОЛЬ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ МОНОМЕРОВ****Палюлин В.В.<sup>1</sup>, Рудяк В. Ю.<sup>2</sup>, Лопушенко А.,<sup>3</sup> Чертович А.В.<sup>3,4</sup>**<sup>1</sup> Сколковский Институт Науки и Технологий, Москва, Россия<sup>2</sup> Тель-Авивский университет, Тель-Авив, Израиль<sup>3</sup> Институт Химической Физики РАН, Москва, Россия<sup>4</sup> Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: v.palyulin@skoltech.ru

В этой работе мы изучаем влияние поведения активных полимеров с линейной и разветвленной геометрией. В нашем молекулярном моделировании предполагается, что активная сила сонаправлена мгновенной скорости каждой частицы. В этой модели не возникает активное упорядочение отдельных частиц (MIPS). Однако, начиная с некоторой критической степени полимеризации, для линейных молекул наблюдается общее упорядоченное состояние. Оно однородно и не проявляет фазового разделения. В упорядоченном состоянии цепочки приобретают плоскую двумерную конфигурацию и все движутся в одном направлении. Важно отметить, что упорядочение достигается только при промежуточных величинах активной силы. При больших величинах переход от беспорядочного к упорядоченному состоянию подавляется разбуханием цепочек во время перехода, что показано с помощью анализа кинетики перехода. Мы демонстрируем бистабильное поведение системы в конкретном диапазоне степеней полимеризации, амплитуды активной силы, плотности и температуры термостата. В целом оказывается, что соединение отдельных частиц ковалентными связями значительно способствует самоупорядочиванию в этой модели активных частиц, в отличие от полимера из активных броуновских частиц.

**Ссылки**

[1] Rudyak, V. Y., Lopushenko, A., Palyulin, V. V., Chertovich, A. V. Long-range ordering of velocity-aligned active polymers // The Journal of Chemical Physics - 2024. Vol. 160, № 4 - P. 044905.

УДК 547.1+546.46+546.62+546.64+546.28

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КРЕМНИЕМ ОРГАНОМАГНИЙОКСАНИТТРИЙОКСАНАЛЮМОКСАНЫ

**Похоренко А.С.<sup>1</sup>, Щербакова Г.И.<sup>1</sup>, Варфоломеев М.С.<sup>1</sup>, Драчев А.И.<sup>1</sup>, Ашмарин А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений, Москва, 105118, Шоссе Энтузиастов 38

<sup>2</sup> Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова,  
Москва, 119991, Ленинский проспект, 49,  
E-mail: anastasiyapohorenko@yandex.ru

Известно, что положительное влияние на механические свойства и микроструктуру алюмооксидной керамики оказывает введение добавок MgO и Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1].

В ГНИИХТЭОС были синтезированы растворимые в органических растворителях керамообразующие олигомерные органомагнийоксанииттрийоксаналюмоксаны. Термотрансформация при температуре выше 1300 °C олигомеров с мольным отношением Al/Mg ≥ 100 и Al/Y ≥ 100 приводит к образованию микрокристаллических керамических порошков корунда (размер зерна 1–8 мкм), модифицированных наночастицами (размер зерна 50–400 нм) соединений магния и иттрия: MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> или Al<sub>2</sub>Y<sub>4</sub>O<sub>9</sub> [2].

С целью аморфизации кристаллической фазы для повышения реакционной способности порошков к спеканию, органомагнийоксанииттрийоксаналюмоксаны модифицировали соединениями кремния: Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> или этилсиликатом-40. Лучшим модификатором оказался этилсиликат-40, который при температуре 60 °C полностью взаимодействовал с олигомерным органомагнийоксанииттрийоксаналюмоксаном с образованием [(R\*\*O)MgO]<sub>k</sub>·(Al<sub>m</sub>)(Y<sub>n</sub>)[(OR)<sub>p</sub>(OR\*\*)<sub>s</sub>(OR\*)<sub>x</sub>(OH)<sub>z</sub>O<sub>y</sub>]<sub>(m+n)</sub>·[Si(OR)<sub>2</sub>O]<sub>l</sub>, где R – C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, <sup>s</sup>-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>, <sup>i</sup>-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>; R\* – C(CH<sub>3</sub>)=CHC(O)OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>; R\*\* – C(CH<sub>3</sub>)=CHC(O)CH<sub>3</sub>.

Термотрансформацию синтезированного олигомера (Al/Si ≈ 30) проводили при 1300 °C и 1500 °C. Методом СЭМ исследовали морфологию поверхности образующихся порошков. Анализируя результаты СЭМ при 1300 и 1500, можно отметить, что при температуре 1300 °C (выдержка 1 час) размер зерна составляет менее 40 нм, а при температуре 1500 °C (выдержка 1 час) наблюдается рост зерна до 115 нм.

Таким образом, введение кремния приводит к получению наноразмерной модифицированной корундовой керамики.

### Ссылки

[1] Liu, Hu. Effects of MgO and Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Microstructure and Mechanical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics / Hu. Liu, Ha. Liu, Ch. Huang, B. Zou, Ya. Chai // Key Eng. Mater. – 2014. Vol. 589-590. – P. 572–577.

[2] Щербакова Г.И. Синтез, свойства и термотрансформация органомагнийоксанииттрийоксаналюмоксанов / Г.И. Щербакова, П.А. Стороженко, Е.А. Новоковская, Н.С. Кривцова, Н.Б. Кутинова, Т.Л. Апухтина, М.С. Варфоломеев, А.А. Ашмарин // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55. – № 10. – С. 1130–1140.

УДК 544.421.032.4

## ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ РЕАКЦИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ТЕРМООКСИДЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛТРИАЗИНОВЫХ ПОЛИМЕРОВ

Аншин В.С.

АО «Композит», г. Королев, Пионерская ул., д.4  
E-mail: thiazole@bk.ru

Проведена оценка энергий активации реакций термической и термоокислительной деструкции фенолтриазиновых полимеров на основе новолачного цианатэфирного связующего. Для нахождения энергии активации использовали усовершенствованный интегральный изоконверсионный метод [1, 2]. В качестве исходных данных использовали результаты термогравиметрического анализа порошкообразных образцов полимера в инертной (аргон) и окислительной (воздух) средах. Полученные результаты представлены на рисунке 1. В связи со сложным характером протекающих процессов [3], энергия активации значительно изменяется по мере прохождения реакции. Заметно значительное различие в энергии активации полученной в инертной и окислительной средах. В инертной среде полимер разрушается с образованием коксового остатка (порядка 50% масс. при 900°C), что принималось за окончание реакции. В то же время, в окислительной среде происходит полное разрушение полимера.

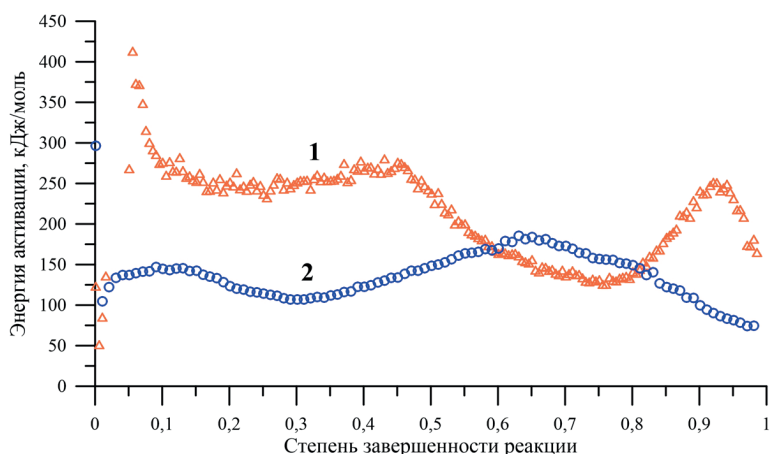


Рисунок 1. Зависимость энергии активации реакций термической (зависимость 1) и термоокислительной (зависимость 2) деструкции фенолтриазинового полимера от степени её завершения.

### Ссылки

- [1] S. Vyazovkin Evaluation of activation energy of thermally stimulated solid-state reactions under arbitrary variation of temperature // J.Comp. Chem. – 1996. – V. 18. - № 3. – P. 393-402.  
 [2] S. Vyazovkin, N. Sbirrazzuoli Isoconversional kinetic analysys of thermaly stimulated process in polymers // Macromol. Rapid. Commun. – 2006. – V. 27. - № 18. – P. 1515-1532.  
 [3] M. L. Ramirez, R. Walters, R. E. Lyon, E. P. Savitski Thermal decomposition of cyanate ester resins // Polym. Deg. Stab. – 2002. – V. 78. - № 1. – P. 73-82.



УДК 678.7:63:61

## ВОДНЫЕ ДИСПЕРСИИ ИОНОМЕРНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ, НЕ СОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

**Голованова К.В., Зенитова Л.А., Табачков А.А.**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Казань, ул. К. Маркса, 68  
E-mail: k.v.golovanova@gmail.com*

Интерес к разработке рецептур водных дисперсий иономерных полиуретанов (ВДИПУ), не содержащих органических растворителей обусловлен не только заботой об окружающей среде (снижение выбросов органических растворителей) [1], но и возможностью производства низковязких высококонцентрированных ( $50 \pm 3$  мас.% сухого вещества) полимеров. В зависимости от выбора сырьевых компонентов продукты на основе ВДИПУ могут быть использованы в качестве покрытий, клеев и пропитывающих составов. Однако, высококонцентрированные ВДИПУ, как правило, не подлежат длительному хранению [2]. Поэтому актуальны исследования методов стабилизации таких дисперсий для увеличения их «времени жизни».

В качестве объектов исследования были использованы анионные и катионные ВДИПУ [3], полученные на основе сложных полиэфиров различной структуры и диизо-цианатов различной природы.

На основании исследований седиментационной устойчивости анионных и катионных ВДИПУ установлено, что независимо от начального размера частиц иономеров наблюдается общая закономерность стадий поведения системы во времени.

С 1 по 5 неделю наблюдается стадия стабилизации состава, далее наступает стадия покоя, которая длится до 22-й недели включительно. Затем с 23 по 30 неделю протекает стадия незначительного роста дисперсионной фазы, а с 30 недели начинается стадия «старения» дисперсия, сопровождающаяся значительным увеличением размера частиц, с последующим желатинированием ВДИПУ. Укрупнение частиц ВДИПУ со временем происходит, вероятно, за счет процесса агрегирования. При этом до 30 недели их размер остается достаточно небольшим (не более 60 нм), что соответствует сроку эксплуатации, предъявляемому к промышленным аналогам, равному 6 месяцам (26 неделям). Следовательно, синтезированные высококонцентрированные ВДИПУ могут быть конкурентноспособны на рынке водных полиуретановых дисперсий.

### **Благодарность**

Авторы благодарят Правительство Российской Федерации (Грант в форме субсидий программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», утвержденный постановлением от 13 мая 2021 года № 729) за финансовую поддержку.

### **Ссылки**

[1] Ульрих Майер-Вестус, Полиуретаны. Покрытия, клеи, герметики. - М.: Пэйнт-Медиа, 2009. – 400с. [2] Аверко-Антонович И.Ю. Синтетические латексы. Химико-технологические аспекты синтеза, модификации, применения. - М.: Альфа-М, 2005. - 680с. [3] Голованова К.В. Синтез и физико-химические свойства водных полиуретановых дисперсий / К.В. Голованова, С.В. Шилова, Л.А. Зенитова // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20.– № 13. – С. 18-22.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В ПРОЦЕССЕ АЦИДОЛИЗА ОТХОДОВ ЭЛАСТИЧНОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

**Исмайлов Д.А.<sup>1</sup>, Жабина В.Н.<sup>2</sup>, Томс Р.В.<sup>1</sup>, Гервальд А.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский Технологический Университет, Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова, Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений им. С.С. Медведева, Москва, пр. Вернадского, 86

<sup>2</sup> Компания «ФомЛайн»,  
Московская обл., г. Рошаль, ул. 2-й Пятилетки  
E-mail: ismaylov.d.a@edu.mirea.ru

Эластичный пенополиуретан (ЭППУ) – крупнотоннажный полимерный материал, который получают взаимодействием изоцианатов и полиолов. Вследствие большого потребления ЭППУ возникают проблемы, связанные с переработкой отходов ЭППУ с истекшим сроком эксплуатации. Решением является вторичная переработка, к которой, среди прочих, относят химический рециклинг. Промышленно реализуемыми являются две технологии: гликолиз – разложение отходов под действием многоатомных спиртов, и ацидолиз – разложение под действием дикарбонových кислот (ДК) [1].

В работе исследовали эффективность различных дикарбонových кислот (ДК) (янтарная, итаконовая, адипиновая, фталевая) на процесс ацидолиза в среде первичного полиола ПП4003 при температурах от 200 до 240 °С в инертной атмосфере при разном соотношении ЭППУ/ДК. Конечные продукты исследовали методами ЯМР, ИК, ГПХ и ДСК, а также определяли вязкость, кислотное число (КЧ) и гидроксильное число (ГЧ). Установлено, что эффективность ацидолиза падает в ряду кислот: янтарная > итаконовая > адипиновая > фталевая. Значения ГЧ и КЧ перспективных продуктов ацидолиза ЭППУ были в интервале от 48 до 54 мгКОН/г и от 2.5 до 3.0 мгКОН/г, соответственно. Процесс был масштабирован в 10 л реакторе, где была отработана непрерывная загрузка компонентов в процессе химического рециклинга. Для получения вторичного ЭППУ проводили смешение вторичных полиолов (ВП) с первичным. Содержание ВП в смеси варьировали от 20 до 50 % масс. Показано, что содержание ВП до 30 % масс. не оказывает существенного влияния на структуру и физико-механические свойства получаемого ЭППУ. Продукт, полученный на первичном полиоле, имеет следующие характеристики: кажущаяся плотность – 30 кг/м<sup>3</sup>, напряжение при сжатии – 3,0 кПа, условная прочность – 117 кПа, восстанавливаемость – 51,10 %, а для ЭППУ с 30 % масс ВП на янтарной кислоте свойства имеют значения 22 кг/м<sup>3</sup>, 3,4 кПа, 99 кПа и 41,68 %, соответственно.

### Ссылки

[1] Opportunities in Closed-Loop Molecular Recycling of End-of-Life Polyurethane / B. Liu, Z Westman, K Richardson [et. al.] // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2023. – Т. 11, № 16. – P. 6114-6128.

УДК 678. 541

## ОДНА ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ПЕНОПОЛИУРЕТАНА - ШИРОКАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

**Куен Тхи Куинь Ань, Любовь А.З.**

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия*  
*E-mail: quynhanhmoitruong@gmail.com*

Разработан материал ППУэл–30–ХК на основе хитозана, растворимого в кислоте и пенополиуретана. Основное использование материала в качестве эффективного (до 14г/г) сорбента для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на водной и земной поверхности [1-2]. Разработанный сорбент благодаря высокой эластичности может использоваться после отжима поглощенного сорбата до 24 раз, что позволяет снизить затраты на его применение, уменьшить количество отходов при ликвидации разливов, регенерировать большую часть сорбированного продукта [3]. Предусмотрена утилизация отработанного сорбционного материала путем его добавки в компонент А при производстве сорбционного материала в количестве до 5 % масс. Без существенного снижения его нефтеемкости. Кроме того, на примере моделей вод, содержащих ионы металлов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , разработанный материал позволяет очищать сточные воды химических предприятий и текстильных производств, содержащих активные красители до 97 %, что указывает на его расширенные возможности. Также материал хорошо зарекомендовал себя в качестве тепло и звукоизоляционного и отделочного материала в строительстве [4].

### Ссылки:

- [1] Куен, Т.К.А. Полимерная композиция на основе пенополиуретана и хитозана / Т.К.А. Куен, Л.А.Зенитов, М.А. Иванова // Вестник технологического университета. – 2017. – Т 20– №. 11. – С. 32–35.
- [2] Куен, Т.К.А. Хитозан содержащие пенополиуретаны в качестве поглотителей нефтепродуктов / Т.К.А. Куен, Л.А.Зенитов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2019. – № 2. – С. 7-21.
- [3] Куен, Т.К.А. Сорбционная способность комбинированного сорбента на основе пенополиуретана и хитозана по отношению к нефти, разлитой на водной поверхности / Т.К.А. Куен, Л.А.Зенитов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2019. – № 4. – С. 36-45.
- [4] Куен, Т.К.А. Сорбент на основе хитозана и пенополиуретана для очистки водных сред от ионов металлов и красителей / Т.К.А. Куен, Л.А.Зенитов, Х. Н. Нго // Бутлеровские сообщения. – 2020. – Т 63. – № 8. – С. 11-17.

УДК 541.64

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

**Плуталова А.В.<sup>1</sup>, Ли Ц.<sup>2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>, Серхачева Н.С.<sup>3</sup>, Лысенко Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Химический факультет МГУ, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3

<sup>2</sup> Факультет наук о материалах МГУ, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 73

<sup>3</sup> РТУ – МИРЭА, ИТХТ им. М.В. Ломоносова, просп. Вернадского, д. 86

E-mail: annaplutalova@gmail.com

Проблема стабилизации сыпучих веществ является актуальной для различных областей жизнедеятельности человека. В настоящее время для решения этой задачи используют жидкие и сухие рецептуры, которые включают многокомпонентные смеси, содержащие высокомолекулярные и низкомолекулярные вещества (стабилизатор, наполнитель, поверхностно-активное вещество и др.) в специально подобранных соотношениях. В данной работе предлагается другой подход – создать однокомпонентный стабилизатор, диспергированный в водной среде, способный выполнить функцию связующего для сыпучих/пылящих веществ и материалов на основе амфифильных сополимеров.

Цель работы заключается в разработке общего подхода к созданию связующих для сыпучих веществ, который может быть распространен в дальнейшем на другие задачи, требующие создания как связующих другой природы, так и функциональных покрытий, обладающих хорошей адгезией к требуемой поверхности. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: 1) провести поиск мономеров и условий проведения полимеризации для синтеза амфифильных сополимеров; 2) осуществить синтез сополимеров заданного состава и молекулярной массы; 3) изучить свойства сополимеров в растворе и блоке; 4) изучить способность сополимеров стабилизировать сыпучие вещества (на примере кварцевого песка).

В работе полимеризацией с обратимой передачей цепи (ОПЦ) синтезированы амфифильные сополимеры на основе катион-содержащих гидрофильных мономеров (1-винилимидазола, N,N-диметиламиноэтилметакрилата, 4-винилпиридина) и гидрофобных мономеров (винилацетата, акрилонитрила, метилакрилата, бутилакрилата и метилметакрилата) с содержанием последних 5 – 10 мол. %. Доказано, что метод ОПЦ-эффективен для получения катион-содержащих амфифильных сополимеров с узким ММР. Изучено поведение сополимеров в водных средах, показано, что сополимеры на основе ДМАЭМА являются рН- и термочувствительными. Установлено, что амфифильные сополимеры понижают поверхностное натяжение на границе вода – воздух, определены углы смачивания их пленок и температуры стеклования сополимеров. Показано, что сополимеры обладают лучшей способностью стабилизировать песчаный грунт, чем катион-содержащий гомополимер.

УДК:547.458+54-116/66-092

## ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ В СИСТЕМЕ $TiCl_4-C_6H_{14}$

Кувшинова Л.А., Удортина Е.В.

ФГБУН Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, ул. Первомайская 48  
E-mail: fragl74@mail.ru

Растительные полимеры, продукты их переработки и материалы на их основе востребованы в различных областях научной деятельности и промышленности. Целлюлоза и лигнин как наиболее распространенные природные полимеры, обладают многими привлекательными свойствами, такими как возобновляемость, биоразлагаемость и биосовместимость. Особый интерес представляют продукты структурно-химического модифицирования лигноцеллюлозных материалов специфическими реагентами, приводящими к одновременной частичной деструкции макромолекулы полимера и к ее функционализации. Одним из таких бифункциональных реагентов является тетрахлорид титана, воздействие которого на лигноцеллюлозное сырье в **гексане способствует в мягких условиях** (температура ниже 100 °С, 2-60 мин) получению тонкодисперсных порошковых неорганолignoцеллюлозных материалов, обогащенных соединениями титана (Ti(IV)). С помощью методов сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии показано, что катионы Ti, внесенные в процессе модифицирования как химически связаны с целлюлозой, так и сосредоточены на поверхности полиматричных композиций в виде сорбированных микроразмерных (0,05-1,00 мкм) агрегатов, в составе которых обнаружены элементы Ti и Cl.

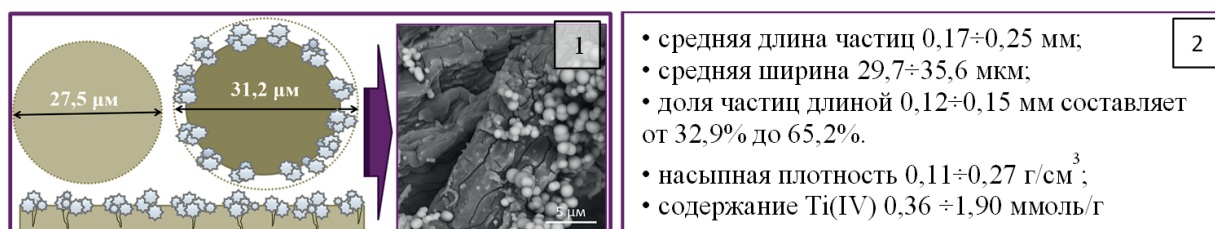


Рисунок 1. Поверхность титансодержащего лигноцеллюлозного порошка,  
2 – физико-химические характеристики титансодержащих лигноцеллюлозных порошков.

Титансодержащие лигноцеллюлозные порошковые продукты были исследованы в качестве модификаторов резин. Установлено, что добавка неорганолignoцеллюлозных гибридов до 5 мас. ч. в полимерную матрицу синтетических каучуков СКИ-3, СКМС-30 АРКМ-15 увеличивает адгезионную прочность связи резина – металлокорд, повышает термостабильность и увеличивает стойкость к старению.

Благодарность

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер госзадания 122040600027-6).



УДК 541.64: 678.67.8: 677.042.6

## УДАЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАОМ

**Эштурсунов Д.А., Инхонова А., Ботиров С.Х., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г.**

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
E-mail: eshtursunovd@gmail.com*

В последние десятилетия наночастицы стали центром научных исследований благодаря их экстраординарным свойствам на нанометровом масштабе. Эти свойства делают их идеальными для применения в различных сферах, включая энергетику, катализ, фотонику, электронику и биомедицину. Особенно значимым является их потенциал в области очистки воды и экологической восстановления окружающей среды, где высокое соотношение площади поверхности к объему наночастиц обеспечивает эффективную адсорбцию загрязнителей. Применение принципов зеленой химии в производстве нанoadсорбентов способствует минимизации отходов и снижению использования опасных химических веществ, что ведет к повышению экологической устойчивости. В рамках данного исследования мы сосредоточились на адсорбции метиленового синего из сточных вод с использованием композитного материала на основе оксида железа и полимера. Это направление исследований критично в свете ограничений текущих методов, таких как ограниченная селективность по отношению к определенным красителям, что подчеркивает необходимость разработки новых методов адсорбции.

Магнитный анионообменный материал (МАОМ), использованный в исследовании, был синтезирован с использованием модифицированного метода совместной осаждения, описанного в литературе [1]. Синтез начинался с приготовления раствора солей железа,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , в мольном соотношении  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  равном 1:2. После достижения гомогенизации раствора при  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , в него добавляли анионообменный материал и продолжали перемешивание при  $60\text{ }^\circ\text{C}$  в течение двух часов. Завершающим этапом синтеза было медленное добавление 25% раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  до появления черного цвета, указывающего на формирование магнитных частиц. Последующие этапы включали удаление избытка аммонийных ионов путем промывания дистиллированной водой и сушку частиц при  $80\text{ }^\circ\text{C}$ .

Фотокаталитическая активность синтезированных наноструктур магнитного анионита была оценена по их способности к деградации метиленового синего под воздействием УФ-излучения. Изменения в спектре поглощения красителя в водном растворе были проанализированы после обработки наноструктурами  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , полученными методом совместной осаждения. Наблюдалось постепенное уменьшение интенсивности пика поглощения метиленового синего при  $553\text{ нм}$ , что свидетельствует о процессе фотодегradации (за 20 минут).

### Ссылки

[1] Peter Lieberzeit, Davron Bekchanov, Mukhtar Mukhamediev. Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications: Review //Polymers for Advanced Technologies vol. 33(6) pp. 1809-1820 (2022) (<https://doi.org/10.1002/pat.5656>)

An aerial photograph of the main building of Moscow State University, featuring its iconic spire with a golden orb. The building is set against a dramatic sunset sky with orange and yellow clouds. Other university buildings and a city street are visible in the foreground and background.

**СЕКЦИЯ Б**

**ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ  
БИМЕДИЦИНСКИХ  
ПРИМЕНЕНИЙ**



УДК 541.68; 615.46

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

**Григорьев Т.Е.<sup>1</sup>, Антипова К.Г.<sup>1</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Крупнин 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

Ведущей идеей современной регенеративной (восстановительной) медицины является создание аналогов органов и тканей, которые могут поддержать функции естественных тканей и органов или будут способствовать их полному восстановлению. Для создания искусственной ткани используют клетки донора и искусственный матрикс, как физическую основу и субстрат для роста этих клеток. Важнейшей научной задачей, которую необходимо решить для достижения данной цели, является создание ряда подходов формирования биоискусственных клеточных систем, или тканеинженерных конструкций.

В докладе отражены основные подходы к созданию пористых материалов с регулируемой структурой, механическими характеристиками и биоактивностью: волокнистых нетканых, губчатых и гидрогелевых. Систематически исследована структура и биомеханическое поведение ряда тканей и органов, нативных и децеллюляризованных: кожи, трахеи, диафрагмы, аорты, желчного протока, легких, сердца, почек. Показано влияние процессов децеллюляризации и рецеллюляризации на стабильность к циклическим нагрузкам: при удалении клеточных компонент ткань теряет способность претерпевать многократные циклические деформации без потери прочности. В докладе отражены основные направления варьирования структуры и пористости полимерных и композиционных материалов, необходимые для работ в области тканевой инженерии. Показано как синтетические подходы, так и методики формирования различных материалов. Продемонстрирована перспективность применения методов акустической микроскопии для исследования естественных и искусственных матриксов.

### Благодарность

Работы проведены в рамках госзадания НИЦ «Курчатовский институт».

УДК 541.64:547.9

## БИОЦИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

**Зезин А.А.<sup>1,2</sup>, Ярославов А.А.<sup>2</sup>, Семенова А.А.<sup>3</sup>, Юшина Ю.К.<sup>3</sup>, Климов Д.И.<sup>1</sup>,  
Сыбачин А. В.<sup>2</sup>, Зезина Е.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
117393, Москва, Профсоюзная улица, 70*

<sup>2</sup> *Химический факультет МГУ, 119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3*

<sup>3</sup> *Федеральный исследовательский центр пищевых систем им. Горбатова,  
109316 Москва, ул. Талалихина, 26,  
E-mail: aazezin@yandex.ru*

В настоящее время возрастающее внимание уделяется борьбе с микробиологическим загрязнением поверхностей. Одним из наиболее перспективных подходов к получению биоцидных покрытий является синтез полимеров с катионными группами [1,2]. Растворимые интерполиэлектродитные комплексы (ИПЭК) могут иметь различный состав, что обеспечивает взаимодействие с поверхностями различных типов и являются гибкой основой для получения покрытий. Использование воды в качестве растворителя имеет принципиальные преимущества с точки зрения доступности и экологической безопасности.

Композиты, содержащие наночастицы серебра, являются перспективной основой для создания биоцидных материалов с пролонгированным действием, поскольку их применение не приводит к эффектам адаптации бактерий. В отличие от антибиотиков. ИПЭК полиакриловой кислоты (ПАК) и полиэтиленимина (ПЭИ) способны связывать большие количества ионов металлов (до 50 мас.%) [3]. Дисперсии и растворы полиэлектролитов были использованы для получения биоцидных покрытий, так и получения антибактериальных наноконпозитов [2,3]. Использование УФ и ионизирующие облучения обеспечивает значительные преимущества в связи с возможностью получения металлополимерных наноконпозитов без загрязняющих веществ.

### Благодарность

Исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-15-2024-483

### Ссылки

[1] Misin, V.M.; Zezin, A.A.; Klimov, D.I.; et al. Biocidal Polymer Formulations and Coatings // *Polym. Sci. Ser. B.* – 2021 – Vol.63 – P. 459–469.

[2] Yushina, Y.K.; Sybachin, A.V.; Kuznecova, O.A.; Semenova, A.A.; Tolordava, E.R.; Pigareva, V.A.; Bolshakova, A.V.; Misin, V.M.; Zezin, A.A.; Yaroslavov, A.A. Thin Cationic Polymer Coatings against Foodborne Infections // *Coatings.* – 2023 – Vol.13 – P.1389.

[3] Mkrtchyan, K.V.; Pigareva, V.A.; Zezina, E.A.; Kuznetsova, O.A.; et al. Preparation of Biocidal Nanocomposites in X-ray Irradiated Interpolyelectrolyte Complexes of Polyacrylic Acid and Polyethylenimine with Ag-Ions // *Polymers.* – 2022 – Vol.14 – P.4417.

УДК

## РОЛЬ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ В ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ СИСТЕМ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕР- ПОЛИСАХАРИД- ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОР

**Кардунян В.В., Курьянова А.С., Аксенова Н.А., Соловьева А.Б.**

*Федеральный исследовательский центр химической физики  
им. Н.Н. Семенова РАН, 119991, Москва, ул. Косыгина, 4  
E-mail: VaLerysik@yandex.ru*

Новые возможности использования фотосенсибилизаторов (ФС) для антимикробной фотодинамической терапии (АФДТ) открываются при использовании фотосенсибилизирующих композиций на основе полимеров. Основными проблемами антимикробной ФДТ (применяемой при лечении труднозаживающих ран, трофических язв и др.) является повышение эффективности и селективности воздействия, а также снижение дозы вводимых ФС в связи с их относительной фототоксичностью. Ранее нами было показано, что некоторые амфифильные полимеры (АП) взаимодействуют в водной фазе с агрегированными ФС порфириновой и антраценовой природы, образуя слабосвязанные комплексы ФС-АП. Такое комплексобразование приводит к повышению фотокаталитической активности ФС, и дает возможность снижения его концентрации. В настоящее время для повышения эффективности лечения локальных инфекций принято комбинировать разные методы лечения, в частности, усиливать АФДТ за счет использования дополнительного ранозаживляющего анионного полисахарида - альгината натрия.

В данной работе изучено влияние АП (прежде всего, плуроников и поливинилпирролидона (ПВП)), а также полисахарида – альгината натрия на фотосенсибилизирующую активность метиленового синего (МС) в модельной реакции фотоокисления триптофана в воде. Показано, что АП, прежде всего ПВП, способны повышать фотокаталитическую активность МС в реакции окисления триптофана за счет образования слабосвязанных комплексов АК-АП, фиксируемых методом <sup>1</sup>H-ЯМР и спектральными методами (ЭСР и флуоресценция). Добавление АН в водный раствор метиленового синего приводит к падению в 1,5-3,5 раза эффективной константы скорости реакции окисления триптофана. Однако связывание ФС с макромолекулами полисахаридов можно предотвратить, вводя в систему АП. Амфифильные полимеры практически полностью блокируют ионное взаимодействие МС с альгинатом натрия и восстанавливают фотокаталитическую активность красителя.

Применение систем МС-ПВП при лечении методом ФДТ модельных ран у лабораторных животных показало более высокую эффективность по сравнению с чистым МС.

### **Благодарность**

Работа была поддержана фондом РФФ (грант № 23-23-00409)



УДК 678.55

## БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ СОПОЛИМЕРЫ ЦИКЛИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ: СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

**Карлов С.С.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт органической химии

им. Н.Д. Зелинского РАН, Россия, Москва, Ленинский просп., 47.

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, химический факультет, Россия,

Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.

E-mail: s.s.karlov@chemistry.msu.ru

В настоящее время биоразлагаемые полимеры циклических сложных эфиров, такие как полилактид и поликапролактон (и другие), являются одними из наиболее эффективных альтернатив классическим полимерам на основе альфа-олефинов в области упаковки (так как несут меньший ущерб окружающей среде благодаря заметно более быстрому разложению), а также в различных областях медицинского применения в качестве шовного материала, каркасов для тканевой инженерии, средств доставки лекарств с контролируемым высвобождением [1]. Основным методом получения этих полимеров является полимеризация с раскрытием цикла (ROP, ring opening polymerization) циклического мономера под действием инициатора, представляющего собой комплекс металла. Однако гомополимеры обладают некоторыми недостатками, которые ухудшают перспективы расширения их практического применения. Существует два подхода к улучшению свойств полимерных материалов: (i) модификация путем пластификации или смешивания с другим полимером, (ii) сополимеризация с раскрытием цикла (ROCOF) с другим мономером.

Получение статистических сополимеров циклических сложных эфиров могло бы привести к биоразлагаемым материалам с улучшенными свойствами, но в большинстве случаев сополимеризация приводит к образованию блок- или градиентных сополимеров из-за разных скоростей реакций полимеризации мономеров при использовании большинства изученных инициаторов. Например, гомополимеризация капролактона на различных инициаторах обычно протекает быстрее, чем лактида, в то время как сополимеризация обоих мономеров на таком же инициаторе часто приводит к первоочередному расходованию лактида из смеси мономеров.

В докладе проанализированы существующие эффективные металлсодержащие инициаторы сополимеризации различных комбинаций циклических сложных эфиров, в том числе и найденные в работах автора с коллегами.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-13-00391).

### Ссылки

[1] Mankaev B.N., Karlov S.S. Metal Complexes in the Synthesis of Biodegradable Polymers: Achievements and Prospects // Materials. – 2023. Vol. 16, № 20. – 6682.

УДК 681.6, 681.9, 004.356

## ГИДРОГЕЛИ И ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ФИБРОИНА И ХИТОЗАНА

**Кильдеева Н.Р.<sup>1</sup>, Сажнев Н.А.<sup>1</sup>, Лозинский В.И.<sup>2</sup>, Дроздова М.Г.<sup>3</sup>, Марквичева Е.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, г. Москва, Малая Калужская ул., 1

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва, ул. Вавилова, 28

<sup>3</sup>Институт биоорганической химии

им. им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН,

г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 16/10

E-mail: kildeeva@mail.ru

Полученные из полисахаридов и белков гидрогелевые материалы, имитируют естественную среду организма и таким образом обеспечивают оптимальные условия для роста и регенерации тканей. Использование гидрогелей из смесей фиброина с хитозаном позволяет сочетать известные структурные характеристикам фиброина шелка, биологическую активность и биосовместимость хитозана. С целью разработки методов получения не растворимых волокон, пленок и гидрогелей на основе регенерированного фиброина были исследованы условия модификации фиброина, приводящие к потере им растворимости в воде: закономерности перехода в  $\beta$ -складчатую конформацию и процесс химической сшивки фиброина и его смесей с хитозаном реагентом природного происхождения дженипином в водных растворах. Была проведена идентификация конформационного перехода в фиброинсодержащих пленках. Увеличение числа аминогрупп в растворе за счет введения хитозана оказывает влияние на закономерности и кинетику взаимодействия аминоксодержащих полимеров с дженипином.

Полимерные системы на основе растворов фиброина и хитозана были использованы для получения биологически активных пленок, пористых криоструктуратов, полученных электроформованием нетканых волокнистых материалов и моноволокон, сформованных по «мокрому способу» путем коагуляции в осадительной ванне. Установлена возможность управлять индукционным периодом реакции сшивки фиброина и хитозана дженипином, что позволяет завершить технологические операции подготовки к формованию (фильтрация, обезвоздушивание). Выявлены особенности пролонгированного высвобождения из гидрогелевых материалов иммобилизованного комплекса противовоспалительных и антибактериальных пептидов и белков, секретируемых стволовыми клетками. В опытах *in vitro* установлены биосовместимость и отсутствие цитотоксичности разработанных гидрогелевых пленок, криоструктуратов и нановолокнистых материалов, а также способность фиброин-содержащих волокон поддерживать трехмерный рост мышечных фибробластов и стволовых мезенхимальных клеток.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-13-00261

УДК 547, 54-3, 544

## НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИПЕПТИДОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

**Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>, Джужа А.Ю.<sup>1,2</sup>, Левит М.Л.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой пр. 31*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Санкт-Петербург,  
Петергоф, Университетский пр. 26  
E-mail: vlakh@mail.ru*

В настоящее время изучение полимерных наночастиц в качестве потенциальных систем доставки лекарств вызывает значительный интерес благодаря возможностям подобных систем [1]. В частности, их использование для доставки лекарств может обеспечить повышение эффективности терапии за счет улучшения биодоступности лекарственного вещества, снижения системного токсического эффекта, обеспечения направленной доставки, в том числе, через различные биологические барьеры. Одними из перспективных систем доставки лекарств являются наночастицы на основе амфифильных сополимеров [2]. Среди существующих амфифильных сополимеров, использование биodeградируемых сополимеров, таких как сложные полиэфиры алифатических гидроксикислот, полипептиды, полиорганофосфазены, полисахариды, и др., представляет особый интерес, так как предполагает понятные механизмы их выведения из организма.

В рамках данного доклада рассмотрены особенности формирования биodeградируемых наночастиц на основе амфифильных полипептидов различного строения, полученных методом полимеризации с раскрытием цикла (ПРЦ), а также сочетанием ПРЦ с пост-полимеризационной модификацией. В частности, будут обсуждаться особенности синтеза и самоорганизации амфифильных блок-сополимеров, статистических сополимеров и модифицированных гомополимеров. Гидрофильные фрагменты получены с использованием глутаминовой кислоты, лизина, гистидина, аргинина и серина; гидрофобные с использованием фенилаланина, лейцина, изолейцина и тирозина. В зависимости от структуры сополимера были получены наночастицы различной морфологии – мицеллы, полимерсомы и наногели. Состав и строение сополимеров обуславливали их гидродинамический диаметр, коллоидную стабильность, скорость биodeградации и биологические свойства. В экспериментах *in vitro* показана потенциальная применимость полученных полипептидных наночастиц в качестве систем доставки лекарств различной природы – малых гидрофобных и амфифильных молекул, пептидов и нуклеиновых кислот.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№21-73-20104).

### Ссылки

[1] Begines B. et al. Polymeric Nanoparticles for Drug Delivery: Recent Developments and Future Prospects // *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, № 7. P. 1403.

[2] Bodratti A.M. et al. Amphiphilic block copolymers in drug delivery: advances in formulation structure and performance // *Expert Opin. Drug Deliv.* 2018. Vol. 15, № 11. P. 1085–1104.

УДК 544.032.53

## НАНОРАЗМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ГИДРОФОБНЫХ ПОРФИРИНОВ И ФТАЛОЦИАНИНОВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА С (ДИ)МЕТАКРИЛАТАМИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

**Курмаз С.В., Емельянова Н.С., Рыбкин А.Ю., Филатова Н.В., Мищенко Д.В.**

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики  
и медицинской химии РАН Черногловка, 142432, просп. акад. Семенова, 1  
E-mail: skurmaz@icp.ac.ru*

Амфифильные полимеры дендритного строения являются перспективными платформами для гидрофобных фотосенсибилизаторов (ФС) благодаря стабильности их водных растворов и малой степени агрегации [1, 2]. На основе биосовместимых сополимеров N-винилпирролидона с (ди)метакрилатами различных составов, молекулярной массы и топологии разработаны наноразмерные системы тетрафенилпорфирина цинка (ZnТФП), метилфеофорбида *a* (МФФ) и фталоцианина алюминия (ФтАлСл) как потенциальных ФС для фотодинамической терапии (ФДТ). Обсуждаются их физико-химические (растворимость, размер и стабильность в водных средах) и фотофизические (поглощение, флуоресценция, квантовые выходы) свойства в зависимости от характеристик сополимеров. Методом DFT рассмотрены возможности межмолекулярных взаимодействий в системах ФС-сополимер.

Показано, что при инкубации полимерных наноструктур красителей с растворами лецитиновых липосом или гомогенатом тканей головного мозга мышей степень агрегации ФС снижается, а квантовый выход синглетного кислорода и сигнал флуоресценции МФФ возрастают в результате высвобождения ФС и перехода в мембраны модельных систем. Фототоксическое действие МФФ на опухолевые клетки *HeLa* в 1.5–2 раза превышает действие ФС сравнения – тринатриевой соли хлорина  $e_6$  как одного из наиболее эффективных препаратов ФДТ [2]. Методом флуоресцентного имиджинга *in vivo* исследовано биораспределение полимерных наноструктур ZnТФП и их способность избирательно накапливаться в опухоли. Разработанный подход позволяет создавать композиции гидрофобных ФС на основе сополимеров ВП дендритного типа с выраженным фотодинамическим действием.

### **Благодарность**

Работа выполнена по теме Государственного задания, № 124013000722-8 и 124020500019-2.

### **Ссылки**

- [1] Kurmaz, S. V. New amphiphilic terpolymers of N-vinylpyrrolidone with poly(ethylene glycol) methyl ether methacrylate and triethylene glycol dimethacrylate as carriers of the hydrophobic fluorescent dye / S. V. Kurmaz, N. V. Fadeeva, A. V. Komendant, V. M. Ignatiev, N. S. Emelyanova, G. V. Shilov, T. S. Stupina, N. V. Filatova, M. A. Lapshina, A. A. Terentyev // Polym. Bull. – 2021. Vol. 79. P. 8905–8925.
- [2] Rybkin, A. Yu. Nanoparticles of N-vinylpyrrolidone amphiphilic copolymers and pheophorbide *a* as promising photosensitizers for photodynamic therapy: Design, properties and *in vitro* phototoxic activity / A. Yu. Rybkin, S. V. Kurmaz, E. A. Urakova, N. V. Filatova, L. R. Sizov, A. V. Kozlov, M. O. Koifman, N. S. Goryachev // Pharmaceutics. – 2023. Vol. 15. 273.

УДК 577.325:54.057

## АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАНИЛАМИДХИТОЗАНА И ЦИСТЕИНОВЫХ ПРОТЕАЗ

**Лавлинская М.С.<sup>1</sup>, Сорокин А.В.<sup>1</sup>, Гончарова С.С.<sup>1</sup>, Кондратьев М.С.<sup>1,2</sup>,  
Файзуллин Д.А.<sup>3</sup>, Зуев Ю.Ф.<sup>3</sup>, Холявка М.Г.<sup>1,4</sup>, Артюхов В.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет, Воронеж, Университетская пл., 1

<sup>2</sup> Институт биофизики клетки РАН – обособленное подразделение ФИЦ  
«Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,  
Пушино Московской области, ул. Институтская, 3

<sup>3</sup> Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань, ул. Лобачевского, 2/31

<sup>4</sup> Севастопольский государственный университет, Севастополь,  
ул. Университетская, 33

E-mail: maria.lavlinskaya@gmail.com

Поиск новых антибактериальных препаратов является актуальной задачей современной науки, обусловленной прогрессирующей резистентностью патогенных и условно патогенных микроорганизмов к используемым субстанциям, обладающим высокой токсичностью. Кроме того, возрастающая аллергия населения направляет исследования в сторону расширения областей применения природных компонентов растительного происхождения, например, цистеиновых протеаз. Эти ферменты известны своей бактерицидной и антибиопленочной активностью, однако, характеризуются низкой стабильностью, что ограничивает сферы их практического применения. В связи с этим в настоящей работе была поставлена задача получить комплексы цистеиновых протеаз – бромелина (КФ 3.4.22.32), папаина (КФ 3.4.22.2) и фицина (КФ 3.4.22.3) с 2-(4-ацетамидо-2-сульфаниламид) хитозаном, обладающие антибактериальной активностью и стабилизирующие протеолитическую активность ферментов. Комплексы ферментов с 2-(4-ацетамидо-2-сульфаниламид)хитозаном с молекулярными массами (ММ) 200, 350 и 600 кДа получали адсорбционной иммобилизацией в боратном буфере с рН 9.0 и характеризовали по содержанию белка, определенному методом Лоури, а также по значениям общей и удельной протеолитической активности в реакциях гидролиза азоказеина. Количество белка в комплексах оптимизировали с использованием уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра. Оценка конформационного состояния ферментов в комплексах проводилась методами ИК-спектроскопии и молекулярного докинга. В ходе исследования выявлено, что комплексообразование повышает удельную протеолитическую активность папаина при взаимодействии с модифицированным хитозаном с ММ 350 кДа. При этом, все полученные комплексы обладают антибактериальной активностью в концентрациях, позволяющих рассматривать их в качестве перспективных антибактериальных агентов.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 21-74-20053



УДК 544.03 41.64:539.199

## КОЛЛАПС ПЕПТИДНОГО ДЕНДРИМЕРА С ДВОЙНЫМИ ГИСТИДИНОВЫМИ АМИНОКИСЛОТНЫМИ ВСТАВКАМИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ pH: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Шевелева Н.Н.<sup>1</sup>, Безродный В.В.<sup>1</sup>, Шавыкин О.В.<sup>2</sup>, Неелов И.М.<sup>3</sup>,  
Тарасенко И.И.<sup>4</sup>, Михайлова М.Е.<sup>1</sup>, Бойко К.М.<sup>5</sup>, Конарев П.В.<sup>6</sup>, **Маркелов Д.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Тверской государственный университет, Тверь

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург

<sup>5</sup> Институт биохимии им. А.Н. Баха, Федеральный исследовательский центр “Фундаментальные основы биотехнологии” РАН, Москва

<sup>6</sup> Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва  
E-mail: d.markelov@spbu.ru

Вопрос о возможности изменения глобальной конформации дендримера (в том числе о существенном изменении размера (более 20%) дендримера при изменении pH) является непростым и стоит с первых работ, посвященных дендримерам. Опубликовано довольно много теоретических и экспериментальных работ, выводы которых в дальнейшем были опровергнуты. Учитывая эти трудности, в настоящей работе нами был исследован коллапс пептидного дендримера второй генерации с двойными гистидиновыми аминокислотными вставками (Lys-2His) как с помощью молекулярно-динамического моделирования [1], так и различными экспериментальными методами (МУРР, динамическое светорассеяние, ЯМР [2]). На основании полученных экспериментальных и теоретических результатов было установлено, что при увеличении pH от 2 до 7 размер Lys-2His уменьшался примерно в 2 раза. Основной причиной данного эффекта является депротонирование His и, как следствие, появление  $\pi$ - $\pi$  стекинга между имидазольными кольцами His. Наличие коллапса Lys-2His указывает на хорошие перспективы для использования данного дендримера в качестве pH чувствительного наноконтейнера для доставки лекарственных препаратов.

### Благодарность

Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 23-13-00144).

### Ссылки

[1] Bezrodnyi V. V., Mikhtaniuk S. E., Shavykin O. V., Neelov I. M., Sheveleva N. N., Markelov D. A., Size and structure of empty and filled nanocontainer based on peptide dendrimer with histidine spacers at different pH // *Molecules* – 2021. Vol. 26, № 6552.

[2] Sheveleva N.N., Bezrodnyi V.V., Mikhtaniuk S.E., Shavykin O.V., Neelov I.M., Tarasenko I.I., Vovk M.A., Mikhailova M.E., Penkova A.V., Markelov D.A. Local Orientational Mobility of Collapsed Dendrimers // *Macromolecules* – 2021. Vol. 54, №. 23 – P. 11083–11092

УДК 675.043.84

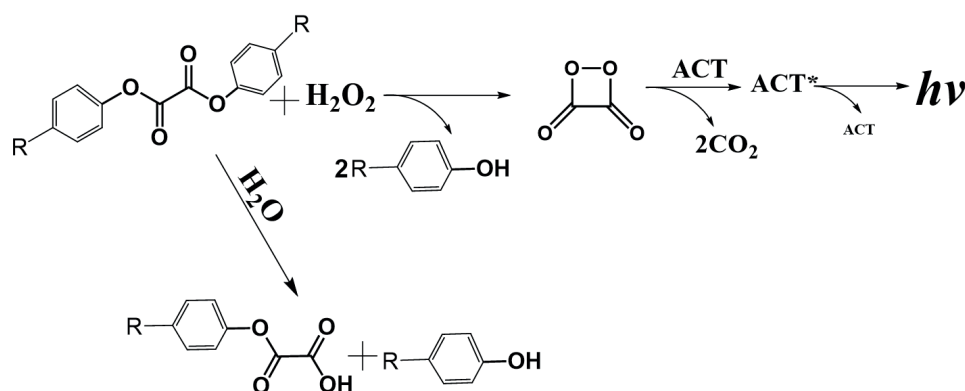
## ПЕРОКСИОКСАЛАТНАЯ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ РЕАКЦИЯ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПОЛИМЕРНЫХ МИЦЕЛЛАХ

**Мелик-Нубаров Н.С., Фомин Е.О., Якимов Н.П.**

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, ул. Ленинские горы д. 1  
E-mail: melik.nubarov@belozersky.msu.ru

Мицеллы полимеров представляют большой интерес в качестве носителей для доставки лекарств. Поскольку во многих амфифильных блок-сополимерах ядро мицелл сформировано звеньями, представляющими собой не углеводород, как в случае полистирола или норборненовых полимеров, а содержит гетероатомы (O, N или S), оно может гидратироваться. При этом как средство мицелл к лекарству, так и стабильность самого лекарства могут сильно зависеть от содержания воды в гидрофобном ядре мицелл.

В настоящем докладе будет представлен способ определения концентрации воды в гидрофобном ядре мицелл, основанный на оценке кинетических констант пероксиоксалатной хемилюминесцентной реакции между ароматическими оксалатами и пероксидом водорода в присутствии полиароматических соединений (**Рисунок 1**).



**Рисунок 1.** Схема пероксиоксалатной хемилюминесцентной реакции. АСТ – активатор, в качестве которого выступают различные полиароматические соединения – перилен, рубрен, BODIPY и т.п.

Если предполагать, что механизм гидролиза оксалатов не меняется при переходе от гомогенного водно-органического раствора к мицеллам амфифильных блок-сополимеров, то данные по константе скорости гидролиза оксалатов можно использовать для оценки содержания воды в ядре мицелл.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственной программы “Современные проблемы химии и физикохимии полимеров” (АААА-А21-121011990022-4).

УДК 544.777

## ИНЖЕКТИРУЕМЫЕ ГЕЛИ БЕЗ СШИВАТЕЛЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ТРЕХМЕРНУЮ СЕТКУ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

**Молчанов В.С., Глухова С.А., Сторожук А.П., Прокопиев И.В., Филиппова О.Е.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1  
E-mail: molchan@polly.phys.msu.ru*

Аддитивные технологии позволяют получать изделия путем послойного добавления материала (3D-печать) и способны экономить ресурсы и обеспечивать безотходное производство, что важно не только с экономической, но и с экологической точки зрения. С экологической точки зрения также важно разработать 3D-печать из натуральных биоразлагаемых полимеров, которые по окончании использования не будут загрязнять окружающую среду. К таким полимерам относятся, в частности, полисахаридные гели. Одним из важных направлений в развитии этой технологии стала 3D-биопечать для использования в медицине. Преимуществом природных полимеров для 3D-биопечати и других применений тканевой инженерии является их сходство с внеклеточным матриксом человека и присущая им биологическая активность.

Одним из наиболее перспективным методом 3D-печати для полимерных гелей является послойная экструзия благодаря своей простоте, низкой стоимости и высокому качеству печати. Однако было обнаружено, что изделия, полученные из традиционных гидрогелей, характеризуются низкой механической прочностью. Проблемы могут быть решены путем введения неорганических наноматериалов в полимерную матрицу.

Для создания сеток, используемых в виде чернил для 3D-печати, были использованы натуральные компоненты: полисахарид альгината натрия и нанотрубки глины галлуазит. При концентрации нанотрубок, превышающей концентрацию их перекрытия, были получены двойные сетчатые структуры, в которых полимерная сетка объединена с сеткой из неорганических наночастиц. Были определены условия, соответствующие наиболее быстрому закреплению структуры, а также наибольшей механической прочности полученных гелей.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-13-00177)

УДК 544.7

## НАНОКОЛЛОИДНЫЕ ГЕЛИ ДЛЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ АКТЮАТОРОВ, СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ И КЛЕТОЧНЫХ СКАФФОЛДОВ

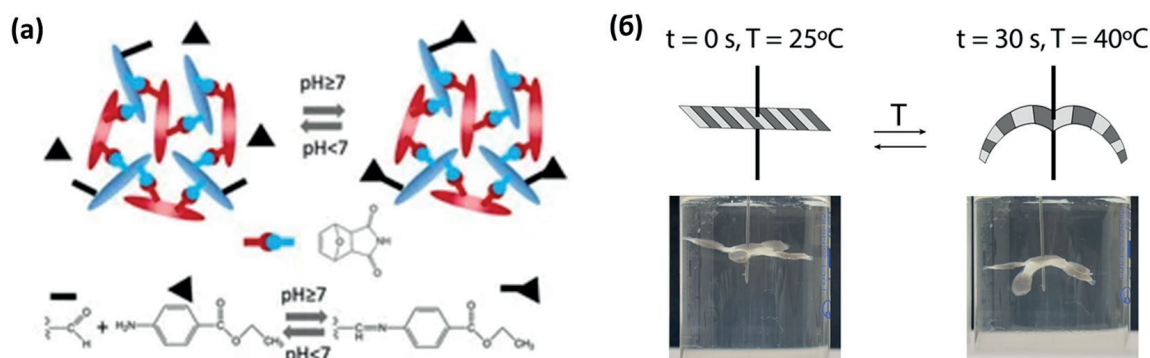
**Морозова С.М.<sup>1,2</sup>, Беляева А.А.<sup>2</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Физико-технический институт, Национальный Исследовательский Институт, 141701, Институтский переулок, д. 9, г. Долгопрудный, Россия,

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, 2-я Бауманская ул., 5/1, г. Москва, Россия,

<sup>3</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, 199004, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31, Россия  
E-mail: sofionova@yandex.ru

Нанокolloидные гели – это системы, в которых наночастицы являются основным гелеобразующим компонентом. Целью работы являлось получение нанокolloидных гелей на основе нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) с управляемыми свойствами за счет химической модификации наночастиц. Была разработана и осуществлена методика получения гидрогеля реакцией Дильса-Альдера между НКЦ, содержащими малеимидные группы, и НКЦ, содержащей фурановые группы (Рис. 1а). В полученном геле присутствовали альдегидные группы, за счет которых в материал ввели бензокаин, локальный анестетик, содержащий первичную амино-группу. Полученный гель демонстрировал высвобождение бензокаина при  $pH < 7$  за счет деградации иминовой связи.



**Рисунок 1.** (а) схема получения геля с pH-чувствительным высвобождением.  
(б) схема и фото актюации геля на основе НКЦ, ПНИПАМ и магнетита.

Получен однослойный актюатор на основе двух типов чернил: 1) термочувствительные чернила на основе поли(N-изопропилакриламида) (ПНИПАМ) и НКЦ, и 2) магниточувствительные чернила на основе наночастиц магнетита и НКЦ. Определенное расположение рисунка в актюаторе позволяло программировать конечную 3D форму (Рис. 1б).

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-79-20113) и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.

УДК: 547.995.1:691.175.5/8

## МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОЧАСТИЦ

**Попырина Т.Н.<sup>1,2</sup>, Минаева Е.Д.<sup>3</sup>, Емельянов К.В.<sup>2</sup>,  
Минаев Н.В.<sup>3</sup>, Аكوпова Т.А.<sup>1</sup>, Демина Т.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Ениколопова Н.С. РАН,  
г. Москва, ул. Профсоюзная, д.70*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Волоколамское ш., д.4*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
г.Москва, ул. Пионерская, д.2  
E-mail: popyrina@ispm.ru*

Модификация химической структуры природного полимера хитозана путем прививки на него гидрофобных фрагментов различной длины придает полученным производным амфифильные свойства, что позволяет использовать их для стабилизации границы раздела фаз масло/вода при формировании микрочастиц из полилактида методом испарения растворителя из эмульсии масло/вода. Оптимизация химической структуры производных позволяет регулировать процесс эмульгирования и тем самым размер, структуру и свойства получаемых микрочастиц, благодаря чему они становятся перспективными кандидатами на роль микроносителей клеток и биоактивных веществ, а также исходных компонентов для аддитивных технологий.

Цель работы заключалась в получении и исследовании гидрофобизированных производных хитозана с последующим использованием их для стабилизации границы раздела фаз масло/вода в ходе формирования полимерных микрочастиц из полилактида.

Для синтеза использовали образцы хитозана с разной молекулярной массой (80 - 350 кДа) и степенью деацетилирования (0.8 - 0.93), а также глицидиловые эфиры докозана HAGE22 и гексадекана HAGE16. Гидрофобизированные производные были получены путем механохимической обработки исходных компонентов в двухшнековом экструдере [1]. Исследование химической структуры полученных производных проводили при помощи фракционного и элементного анализа, а также ИК-Фурье спектроскопии, результаты которых подтвердили успешную прививку на хитозан гидрофобных фрагментов алкилглицидиловых эфиров. Полученные гидрофобизированные производные были использованы для стабилизации границы раздела фаз в ходе формирования полимерных микрочастиц из полилактида методом испарения растворителя из эмульсии масло/вода. Установлено, что использование гидрофобизированных производных позволяют получать сферические микрочастицы с высоким выходом (57.1 - 65.8 масс.%), развитой внутренней структурой и гомогенной морфологией поверхности, обогащенной гидрофильными природными фрагментами.

### Ссылки

[1] Аكوпова Т.А. Hydrophobic modification of chitosan via reactive solvent-free extrusion / Т.А. Аكوпова, Т.С. Демина, М.А. Khavpachev, Т.Н. Попырина, А.В. Grachev, P.L. Ivanov, А.Н. Zelenetskii // Polymers. – 2021. V.13. – P. 2807.



УДК 547.96:547.02/.022

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАТОВ НА КОЛЛАГЕН, ПОЛУЧЕННЫЕ В УСЛОВИЯХ ФОТОКАТАЛИЗА

**Семенычева Л.Л., Румянцева В.О., Фукина Д.Г., Валетова Н.Б.,  
Смирнова О.Н, Сулейманов Е.В.**

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, 603950, Россия  
E-mail: llsem@yandex.ru*

Новые полимерные материалы на основе природных полимеров медицинского назначения занимают особое место в практике. Их использование включает материалы для закрытия раневых и ожоговых поверхностей, скаффолды для регенерации тканей и т.п. Особенно актуальна область регенеративной медицины и адресной доставки лекарств. В этом случае чаще всего используют материалы на основе природных биосовместимых и биорезербируемых полимеров: белков и полисахаридов. Предпочтительны разработки композитных материалов трехмерной структуры на основе природных полимеров, среди которых лидирующие позиции занимает коллаген или его денатурированный аналог – желатин.

Целью разработок исследования является создание композитных материалов на основе привитых сополимеров акрилатов на тресковый коллаген и модифицирующих добавок с использованием фотокатализа в присутствии сложного оксида  $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$  в рамках реализации внедрения «зеленой химии» в практику. Сополимеры образуются в водной дисперсии коллагена, мономера и сложного оксида при облучении видимым светом. Характеризацию свойств новых сополимеров проводили с использованием методов ГПХ, СЭМ, элементного анализа и др. Показано, что выделенный после синтеза продукт имеет меньшее содержание азота, чем коллаген, заметное отличие морфологии от исходного белка, зафиксированы макромолекулы с большей молекулярной массой, чем у коллагена и т.п. Практически важное значение имеет биорезорбция медицинского материала после выполненной возложенной на него функции, например, регенерации ткани в случае скаффолдов. Исследования показали, что ферментативное разрушение привитых сополимеров происходит значительно медленнее в сравнении с коллагеном, который деградирует слишком быстро. Добавление сшивающих агентов и модификаторов позволило получить полимерные материалы сшитой структуры, как хорошо растворимые в воде, так и коагуляты. Особенностью пленок композитов является бицидность, что не маловажно при получении специальных медицинских покрытий.

### **Благодарность**

Данное исследование было профинансировано Министерством образования и науки РФ (задание FSWR-2023-0024) с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Новый Материалы и ресурсосберегающие технологии” (ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

УДК: 66.095.26

## БИОСОВМЕСТИМЫЕ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

**Спиридонов В.В.<sup>1</sup>, Лукманова А.Р.<sup>2</sup>, Антонова Ю.А.<sup>1</sup>, Маркова А.А.<sup>3</sup>,  
Поздышев Д.В.<sup>4</sup>, Алёхина Ю.А.<sup>5</sup>, Перов Н.С.<sup>5</sup>, Ярославов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет,  
Ленинские Горы 1-3, 119991, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
факультет наук о материалах, Ленинские Горы 1-73, 119991, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, Москва,  
ул. Косыгина, д. 4, 119334 Москва, Россия*

<sup>4</sup> *НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ,  
Ленинские горы, 1-40, 119992, Москва, Россия*

<sup>5</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет,  
Ленинские Горы 1-2, 119991, Москва, Россия*

*E-mail: vasya\_spiridonov@mail.ru*

Полимерные микрогели, функционализированные магнитными наночастицами оксида железа, вызывают повышенный интерес, поскольку находят применение в качестве контрастирующих агентов в МРТ исследованиях, препаратов для гипертермической обработки патологических очагов в организме, магнитной составляющей композиций для целенаправленной доставки лекарств. Микрогели, содержащие наночастицы магнетита, занимают особое место, так как характеризуются приемлемой для биомедицинских приложений токсичностью, демонстрируя высокую магнитную восприимчивость. Природный полисахарид альгинат натрия содержит анионные группы и является нетоксичным гидрофильным полиэлектролитом, и поэтому представляет собой перспективный агент для стабилизации магнитных наночастиц, а также эффективную матрицу для иммобилизации, транспорта и контролируемого высвобождения большого количества активных компонентов без рассеивания как неорганических магнитных наночастиц, так и биологически-активных компонент по организму человека. Предложен способ синтеза магнитного микрогеля на основе природного полисахарида альгината натрия и наночастиц магнетита, позволяющий получить водосовместимые суспензии с содержанием магнитной фазы свыше 35 вес.%. Показано, что содержание наночастиц в образцах регулируется соотношением исходных реагентов. При растворении в воде микрогели формируют коллоидные дисперсии со средним гидродинамическим диаметром 160-230 нм и отрицательно заряженной поверхностью. Устойчивость к агрегации зависит от количества наночастиц, включённых в полимерную матрицу.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-23-00156).

УДК 541.64:539.37: 546.15

## ИОДСОДЕРЖАЩИЕ БИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ

**Трофимчук Е.С.<sup>1</sup>, Балобанова С.И.<sup>1</sup>, Седуш Н.Г.<sup>2</sup>, Пучков А.А.<sup>2</sup>, Хавпачев М.А.<sup>2</sup>,  
Никонорова Н.И.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1, 119991

<sup>2</sup> ИСПМ имени Н.С. Ениколопова, Москва, Профсоюзная улица, 70, 117393

E-mail: elena\_trofimchuk@mail.ru

Биоразлагаемые полимеры поли( $\epsilon$ -капролактон) (ПКЛ) и полилактид (ПЛ) обладают хорошей биосовместимостью и широко используются в медицинских изделиях в качестве компонентов шовного материала, имплантатов, др. Создание на их основе биоактивных материалов с контролируемым сроком разложения является актуальным направлением исследований. Иод в качестве добавки представляет интерес, поскольку обладает бактерицидными свойствами.

Цель настоящей работы заключается в разработке методов получения иодсодержащих пленочных и волокнистых материалов на основе ПЛ и ПКЛ, в изучении влияния иода на скорость деструкции полимеров и в проведении *in vitro* и *in vivo* исследований биоактивных свойств полученных материалов.

Обнаружено, что введение иода в полимеры путем сорбции из паров или этанольных растворов приводит к достаточно быстрой (через 24-48 ч) потере ими механической прочности и снижению разрывного удлинения до 1-5%, а также к уменьшению молекулярной массы в 3-5 раз. Было сделано предположение, что иод образует комплекс с переносом заряда с карбонильной группой сложных полиэфиров, ослабляет С–О связь в полимерной цепи и приводит к облегчению ее разрыва, например, по механизму гидролитической деструкции или алкоголиза в спиртовом растворе [1].

Полученные иодсодержащие материалы на основе ПЛ и ПКЛ обладают противомикробными свойствами по отношению к культурам *Candida albicans* и *Escherichia coli* – размер зоны задержки роста составил 3-6 мм. Изучена реакция тканей живого организма (крыса) на ПЛА волокна без иода и содержащих 6 мас.% иода. Обнаружено, что иод подавляет альтернативную фазу воспаления и ускоряет его пролиферативную фазу.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-23-00082, <https://rscf.ru/project/24-23-00082/>

### Ссылки

[1] Khavpachev M.A., Trofimchuk E.S., Puchkov A.A., Demina V.A., Sedush N.G., Nikonorova N.I., Balobanova S.I., Chvalun S.N. Effect of ethanol solution of iodine on degradation of poly( $\epsilon$ -caprolactone) // *Mendeleev Communications* – 2023. – V. 33. – P. 411–412.

## БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАЖИВЛЕНИЯ РАН НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА И ГЕМИНА

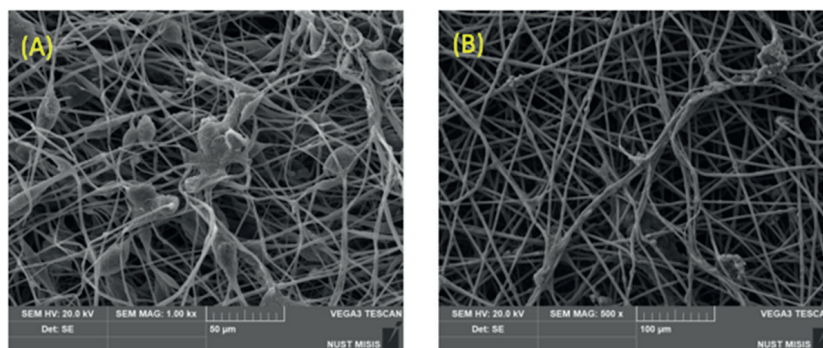
**Тюбаева П.М.<sup>1,2</sup>, Варьян И.А.<sup>1,2</sup>, Ольхов А.А.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова,  
Москва, Стремянный переулок, 36

<sup>2</sup> ФГБУН Институт Биохимической Физики им. Н.М. Эмануэля РАН,  
Москва, ул. Косыгина, 4  
E-mail: polina-tyubaeva@yandex.ru

Заживление ран – это комплексный процесс, который включает такие этапы, как коагуляция (до 1 дня), воспаление (от 1 до 3,5 дней), пролиферация клеток и эпителизация (от 1,5 до 13 дней) и ремоделирование раны (от 5 дней и до окончания восстановления). Эти временные рамки типичны для идеальных условий ранозаживления, и могут увеличиваться под влиянием внешних факторов, а основной угрозой для быстрого заживления является бактериальная инфекция. Актуальной задачей является сокращение сроков заживления еще на ранних этапах коагуляции и воспаления, а также обеспечение надежной защиты от инфицирования раны. В данной работе предложены новые биомиметические материалы для решения этой комплексной задачи.

Высокоразвитая структура была получена методом электроформования. Нетканые волокнистые материалы были получены на основе поли-3-гидроксибутирата (ПГБ) с введением гемина в качестве модифицирующей добавки, обеспечивающей высокий антимикробный эффект, а также покрытых активатором ранозаживления - фибриногеном (Рисунок 1).



**Рисунок 1.** Нетканые волокнистые материалы на основе ПГБ, покрытые фибриногеном:  
А – ПГБ-фибриноген, Б – ПГБ-гемин-фибриноген.

В работе исследована морфология, механические и физические свойства новых материалов. Проведены исследования биосовместимости *in vitro* и анализ ранозаживления *in vivo* с участием лабораторных животных. Показано, что полученные материалы имеют средний диаметр волокон 1,8 мкм, пористость более 90%, высокие антимикробные свойства в течение 10 дней, что положительно сказывается на ранозаживлении. Полученные материалы позволяют ускорить ранозаживление более чем на 35% уже на 3ий день. Разработанные нетканые материалы могут эффективно применяться в ускорении ранозаживления и защите ран от инфицирования.

УДК 541.64:539.199

## ЛИНЕЙНЫЕ И ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ. КОНФОРМАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

**Филиппов А.П.**, Блохин А.Н., Головина М.А., Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Красова А.С.,  
Родченко С.В., Теньковцев А.В.

*НИИ «Курчатовский институт», Институт высокомолекулярных соединений Российской академии  
наук, Санкт-Петербург, Большой пр., 31  
E-mail: afil@imc.macro.ru*

Обобщаются результаты исследований термочувствительных блок-сополимеров поли-2-алкил-5,6-дигидрооксазинов (ПАОЗин). Изучены линейные блок-сополимеры поли-2-этил-5,6-дигидрооксазина с поли-2-изопропил-5,6-дигидрооксазином (ПИПОЗин) и поли-2-метил-5,6-дигидрооксазина с ПИПОЗин, а также звездообразные шестилучевые полимеры с лучами блок-сополимеров ПАОЗин и центром ветвления принципиально другой природы – гексааза[2<sub>6</sub>]циклофаном (ЦФ6). Образцы линейных ПАОЗин различались по составу и молекулярной массе (ММ), а в случае звездообразных полимеров варьировался еще и порядок подключения блоков к ЦФ6 ядру.

Методами молекулярной гидродинамики и оптики в молекулярно дисперсных растворах изучены гидродинамические свойства ПАОЗин. Показано, что линейные блок-сополимеры являются типичными гибкоцепными полимерами с длиной сегмента Куна  $A = (1.4 - 1.8)$  нм. Звездообразные ПАОЗин характеризуются повышенной внутримолекулярной плотностью, а их макромолекулы имеют форму, близкую к сферической, независимо от строения лучей.

Процессы самоорганизации в водно-солевых растворах линейных и звездообразных сополимеров ПАОЗин исследованы методами светорассеяния, микрокалориметрии и турбидиметрии. Показано, что температуры фазового разделения  $T_1$  блок-сополимеров ПАОЗин ниже, чем для соответствующих поли-2-алкил-2-оксазолинов вследствие большей гидрофобности мономерного звена. Значение  $T_1$  снижается при увеличении содержания более гидрофобного компонента ПИПОЗин, а также при увеличении ММ. Для всех изученных сополимеров добавление NaCl и приводит к снижению  $T_1$ , при этом с увеличением содержания NaCl температура  $T_1$  для звездообразных блок-сополимеров снижается заметно сильнее, чем для линейных полимеров, что обусловлено влиянием ЦФ6 центра ветвления. Анализ полученных результатов позволяет предположить, что в явлении фазового перехода в водно-солевых растворах изученных сополимеров более существенную роль играет блок ПИПОЗин.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-00205, <https://rscf.ru/project/23-13-00205/>



УДК 541.64

## ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ СУПЕРКОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Хаширова С.Ю., Жанситов А.А., Хаширов А.А.**

*Кабардино-Балкарский государственный университет  
им. Х.М. Бербекова, 360004, Нальчик, Чернышевского 173  
E-mail: new\_kompozit@mail.ru*

Суперконструкционные полимеры представляют весьма перспективный класс материалов для медицины. Возможности широкого варьирования химического строения, молекулярной и надмолекулярной структуры этих полимеров позволяют получать материалы с требуемым комплексом свойств что может значительно расширить возможности реконструктивной хирургии.

В докладе рассматриваются особенности применения суперконструкционных полимеров в сочетании с 3D печатью для получения персонализированных медицинских имплантатов [1]. Сопоставлены свойства суперконструкционных полимеров медицинского назначения, разработанных в Центре прогрессивных материалов и аддитивных технологий КБГУ с зарубежными аналогами, применяемыми в клинической практике. Представлены результаты исследования биосовместимости суперконструкционных полимеров в зависимости от степени очистки, надмолекулярной структуры, метода изготовления. Приведены новые подходы к модификации полимеров для усиления их остеоинтеграции, регулированию механических свойств и надмолекулярной структуры для получения качественных и безопасных изделий, близких по свойствам к костной ткани человека. Рассмотрены области возможного биомедицинского применения суперконструкционных полимеров и композитов.

Сделано заключение, что к решению проблемы внедрения перспективных полимеров в медицину следует подходить с двух сторон: с медико-биологической и физико-химической в тесном взаимодействии химиков с медиками. До настоящего времени не сформированы конкретные требования к полимерному материалу для применения в качестве имплантата: медицинской чистоте, биосовместимости, обеспеченной химическим строением, молекулярной массой и надмолекулярной организацией полимера, а не его формой.

От того, насколько уже сегодня усилия медиков и химиков будут подчинены решению общих задач, зависит прогресс и медицины, и химии медицинских полимеров.

### Ссылки

[1] Slonov A.L., Khashirov A.A., Zhansitov A.A., Rzhevskaya E.V., Khashirova S.Yu. The influence of the 3D-printing technology on the physical and mechanical properties of polyphenylenesulfone / Slonov A.L., Khashirov A.A., Zhansitov A.A., Rzhevskaya E.V., Khashirova S.Yu. // Rapid prototyping journal –

УДК 547.458:[544.015.2+535-4]

## МЕТАСТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ХИРАЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ АСПАРАГИНАТА ХИТОЗАНА

**Шиповская А.Б.<sup>1</sup>, Луговицкая Т.Н.<sup>2</sup>, Шипенко К.М.<sup>1</sup>, Ушакова О.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
E-mail: shipovskayaab@rambler.ru

Хиральные наноструктурированные полимерные матрицы с управляемыми сайтами комплементарно-специфических взаимодействий рассматриваются в качестве инновационных субстратов для получения высокоселективных медико-фармацевтических препаратов и высокоэффективных агронанобиохимикатов.

Нами разработан новый способ получения хиральных наночастиц на основе гетеро- и гомохиральных солевых комплексов хитозана (D-аминоглюкана, CS) с L- и D-аспарагиновой кислотой (AspA). В основе их формирования лежит процесс противоионной конденсации поликатиона с противоионами кислотного остатка с последующей фазовой сегрегацией полимерного вещества на уровне наночастиц (способ «снизу вверх»). Для стабилизации метастабильного состояния наноструктурированной фазы поверхность частиц функционализировали полисилоксановой оболочкой с использованием в качестве предшественника золь-гель реакции фармакологически активного тетраглицеролата кремния. Проведен комплексный анализ дисперсий наночастиц методами ИК-, энергодисперсионной и поляризационной спектроскопии, рентгеновской дифрактометрии, малоуглового рассеяния рентгеновских лучей, динамического рассеяния света, сканирующей, просвечивающей и атомно-силовой микроскопии. Выявлено, что сегрегированные частицы имеют форму наносфер и нанопалочек. Доказано наличие в составе наночастиц солевой формы полимера (CS·L-(D-)AspA). Установлена развитая система меж- и внутримолекулярных контактов (H-связи, специфические кулоновские и ион-дипольные взаимодействия) в надмолекулярной структуре образцов. Обнаружено влияние изомера AspA на процессы наноструктурной самоорганизации и размерные характеристики нанообъектов. Средний характерный эффективный диаметр наносфер CS·L-AspA и CS·D-AspA составил 90 и 50 нм, длина/ширина нанопалочек 100–160/10–20 и 85–125/20–30 нм, ζ-потенциал наночастиц 37±2 и 33±3 мВ.

Установлено, что хиральные наночастицы CS·L-(D-)AspA нетоксичны, гемо- и биосовместимы, оказывают биоцидное действие на грамположительные и грамотрицательные микроорганизмы, а также высокую ростостимулирующую активность в отношении тест-растений. Во всех случаях наилучший биологический эффект проявляют гомохиральные наночастицы D-глюкан·D-AspA.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №24-16-00172, <https://rscf.ru/project/24-16-00172/>.

УДК 54.057: 621.762: 621.74.02

## ПРОГНОЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM

Исабаева Ж.<sup>1</sup>, Шишковский И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва, 121205, Большой бул. 30/1

<sup>2</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Самара, 443011, Ново-Садовая 221  
E-mail: shiv@fian.smr.ru

В работе были проведены механические и термомеханические исследования, направленные на прогнозирование эффекта памяти формы (ЭПФ) в изделиях, напечатанных из биорезорбируемой полимолочной кислоты (PLA). В дополнение к оценке механической прочности на растяжение были выполнены тесты на ДСК, ТМА, ДМА и память формы при много-цикловом нагружении. Результаты конечно-элементного анализа (КЭА) были сопоставлены с экспериментальными данными для одноосного растяжения и вязкоупругого поведения при ДМА. Было показано, что два параметра печати, такие как температура экструдера и диаметр сопла, существенно влияют на прочность при растяжении. Экспериментальные результаты и КЭА на напряжение-деформацию были сопоставлены для получения окна оптимальных режимов. Оказалось, что вязкоупругая модель Муни-Ривлина с 5 параметрами хорошо согласуется с прогнозами механического поведения при испытании на растяжение. Впервые для 3D печатного PLA тесты ТМА позволили нам оценить особенности термической деформации образцов, получить численные значения коэффициента термического расширения (КТР) в продольном и поперечном направлениях при различных температурах. КТР данные были успешно использованы при описании материала во время моделирования ДМА в ANSYS Workbench. ДСК показал аморфной структуры изделий, температуру стеклования, как точки фазового перехода для ЭПФ.

Экспериментально показано, что PLA действительно обладает ЭПФ, что позволяет использовать этот материал для 4D печати и является ценным для настраиваемых медицинских приложений. Показано влияние механических характеристик образцов на его способность восстанавливать форму. Чем прочнее образец, тем меньше наблюдается усталость от цикла к циклу при восстановлении первоначальной формы после деформации. Режимы печати с разными диаметрами сопел и температурами экструдера показали разные коэффициенты восстановления формы (91,1% и 78,2%) из-за различных остаточных напряжений (1,72 МПа и 1,87 МПа) и значений конечной деформации (0,069 и 0,218 мм/мм). Значительное снижение коэффициента восстановления от цикла к циклу объясняется слишком большой величиной приложенной деформации, несмотря на фиксацию формы, которая не уменьшалась с каждым циклом памяти формы.

### Благодарность

Авторы благодарны инженерам Сколтех О. Дубинину за помощь при 3D печати образцов и С. Коневу за их механические испытания.

## РЕАЦЕТИЛИРОВАННЫЙ ХИТОЗАН И ЕГО КОМПЛЕКСЫ В СЛАБОЩЕЛОЧНЫХ СРЕДАХ

**Благодатских И.В.<sup>1</sup>, Тихонов В.Е.<sup>1</sup>, Вышиванная О.В.<sup>1</sup>, Безродных Е.А.<sup>1</sup>,  
Тищенко Н.А.<sup>1</sup>, Айсин Р.Р.<sup>1</sup>, Орлов В.Н.<sup>2</sup>, Антонов Ю.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова,  
Москва, 119334, ул. Вавилова 28 стр.1*

<sup>2</sup> *НИИ Физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского МГУ,  
Москва, 119992, Ленинские горы, дом 1, стр 40*

<sup>3</sup> *Институт биохимической физики им. М.Н. Эмануэля,  
Москва, 119334, ул. Косыгина 4  
E-mail: blago@ineos.ac.ru*

Благодаря антимикробной активности, хитозан рассматривается как перспективный полимер для использования в медицине. Однако потеря растворимости при переходе к нейтральным и щелочным средам приводит к резкому падению его антимикробной активности. Частично реацетилованный короткоцепной хитозан (РА-ХИ) с оптимальной степенью ацетилирования и статистическим распределением звеньев ацетилглюкозамина по цепи не только обладает повышенной растворимостью и агрегативной устойчивостью в слабощелочных средах, но и демонстрирует в них высокую антимикробную активность [1]. В этой связи большой интерес представляет вопрос о взаимодействии РА-ХИ с поликислотами и белками в средах с pH 7.4. В данной работе в качестве модельной поликислоты использована карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и в качестве модельного белка – бычий сывороточный альбумин (БСА). Показано, что при pH 7.4 РА-ХИ образует нестехиометрические полиэлектролитные комплексы с КМЦ, растворимые комплексы представляют собой сферические частицы радиусом приблизительно 100 нм. Взаимодействие сопровождается дополнительной ионизацией хитозана за счет переноса протонов с буферного вещества [2]. Способность к комплексообразованию обнаружена также в смесях РА-ХИ с БСА, связывание происходит с участием электростатического взаимодействия и переноса протонов. При образовании комплексов не происходит нарушения вторичной структуры белка. Повышение ионной силы среды до 0.15М подавляет способность к связыванию как с поликислотой, так и с белком.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 23-23-00198

### Ссылки

[1] Blagodatskikh I.V. et al. N-Reacetylated Oligochitosan: pH Dependence of Self-Assembly Properties and Antibacterial Activity // *Biomacromolecules*. – 2017. – Vol. 18. – P. 1491–1498.

[2] Blagodatskikh I.V. et al. Complexation between chitosan and carboxymethyl cellulose in weakly acidic, neutral, and weakly alkaline media // *Int J Biol Macromol*. – 2023. – Vol. 243. – P. 125277.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛКАПРОЛАКТАМА И N-ВИНИЛИМИДАЗОЛА

**Ворожейкина А.В.<sup>1</sup>, Барабанова А.И.<sup>1</sup>, Митрофанов А.Ю.<sup>2</sup>, Белецкая И.П.<sup>2</sup>, Хохлов А.Р.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИИЭОС РАН им. А.Н. Несмеянова, Москва, ул. Вавилова, д.28

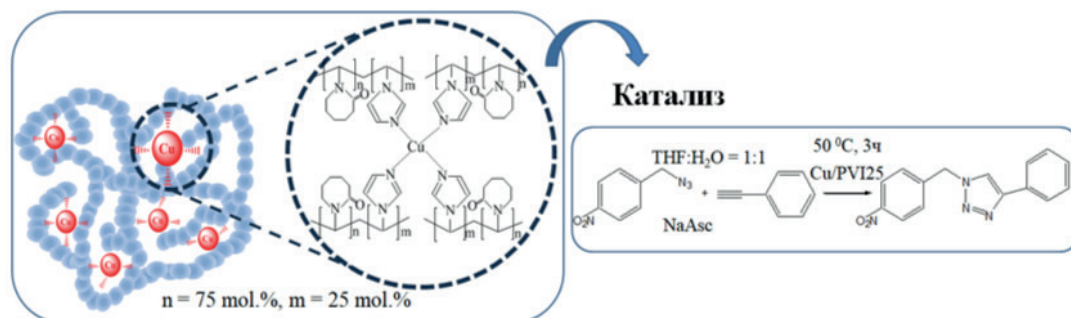
<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ул. Колмогорова, 1

E-mail: Polylesya@mail.ru

Имидазолсодержащие полимеры, благодаря основным свойствам, а также способности координироваться с ионами металлов, часто используются в качестве рециклируемых катализаторов органических реакций. В настоящей работе изучены комплексы сополимеров N-винилкапролактама (ВКЛ) и N-винилимидазола (ВИ) различного состава с ионами меди, которые могут рассматриваться как синтетические аналоги фермента тирозиназы.

Сополимеры ВКЛ и ВИ получены свободнорадикальной сополимеризацией в массе. Изучение кинетики сополимеризации показало, что во всей области составов сополимеры обогащены звеньями ВИ, а константы сополимеризации составляют  $r_{\text{ВКЛ}} = 0.20$ ,  $r_{\text{ВИ}} = 5.10$ . Произведение констант ( $r_{\text{ВКЛ}} \times r_{\text{ВИ}} \approx 1$ ) указывает на случай идеальной виниловой сополимеризации. Установлено постоянство состава сополимеров вплоть до полного исчерпания ВИ реакционной смеси.

Каталитическая активность комплексов сополимеров ВКЛ и ВИ разного состава с  $\text{Cu}^+$  исследована в реакциях азид-алкинового циклоприсоединения (Рис 1). Показано, что в присутствии комплекса сополимера, содержащего 25 мол.% ВИ ( $\text{Cu}/\text{PVI25}$ ), реакция протекает без добавления триэтиламина с выходом триазола 99 %, по крайней мере, в пяти циклах [1]. Повышенную основность катализатора можно объяснить локализацией звеньев ВИ на поверхности агрегатов со структурой ядро-оболочка, образованных термочувствительным PVI25 в условиях реакции, а способность комплекса  $\text{Cu}/\text{PVI25}$  к рециклизации – высоким содержанием меди, координированной звеньями ВИ (координационное число 4).



**Рис. 1.** Схема реакции азид-алкинового циклоприсоединения в присутствии  $\text{Cu}/\text{PVI25}$

### Ссылки

[1] Mitrofanov A.Y., Muraskina A.V., Barabanova A.I., Vorozheikina A.V., Zubavichus Y.V., Khokhlov A.R., Beletskaya I.P. Efficient recyclable Cu-catalysts for click reaction and Chan-Lam coupling based on copolymers of N-vinylimidazole with N-vinylcaprolactam // Molec. Cat. – 2023. Vol. 541. – P. 112915



УДК 54.057:543.429.22

## СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ФЛЮИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПР – «НЕСТАНДАРТНЫЕ» ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ И ИССЛЕДОВАНИЮ МЕДИЦИНСКИХ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

**Голубева Е.Н.<sup>1,2</sup>, Зубанова Е.М.<sup>1</sup>, Попова А.А.<sup>1,2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Ленинские горы 1, с. 3*

<sup>2</sup> *Институт регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова  
Минздрава России, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, с. 2  
E-mail: (golubeva\_e\_n@staff.sechenov.ru)*

Термочувствительные полимеры находят широкое применение в медицине как средства доставки лекарств, в тканевой инженерии, в протезировании и др. Высокие требования к чистоте медицинских полимеров, в том числе к содержанию примесей органических компонентов, определяют актуальность поиска новых подходов к их синтезу. Одним из них является использование сверхкритических флюидных растворителей, прежде всего сверхкритического диоксида углерода ( $\text{scCO}_2$ ), который не только удаляется после окончания синтеза путем сброса давления, но и позволяет регулировать характеристики полимера за счет изменения его свойств, в том числе растворяющей способности, путем варьирования параметров состояния. В докладе будут рассмотрены закономерности и перспективы получения термочувствительного поли-N-изопропилакриламида (ПНИПАМ) и его сополимеров в среде  $\text{scCO}_2$ .

Медицинское применение термочувствительных полимеров основано на способности полимерных цепей в водных растворах и гелях коллапсировать с образованием глобул или структурных неоднородностей. В качестве перспективного, но на данный момент редко используемого подхода для установления закономерностей этого процесса может быть использован метод ЭПР в рамках методик спиновой метки и спинового зонда, позволяющий устанавливать свойства неоднородностей на микроуровне. Показано, что неоднородности нанометрового размера в ПНИПАМ и его сополимерах образуются ниже НКТР, измеряемой методами турбидиметрии и ДСК. Полимерные глобулы могут иметь статический характер, как в случае гомополимера ПНИПАМ, и не выпускать захваченные молекулы зонда, тогда как глобулы сополимеров могут обмениваться содержимым с окружающей средой. Методом спиновой метки показано, что взаимодействие ПНИПАМ с белками приводит к стимуляции процессов коллапсирования полимерных цепей в области НКТР, но не влияет на образование глобул в других условиях.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24-45-10012).

УДК 541.64+579.61

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ГУАНИДИНИЕВЫЕ ПОЛИАМФОЛИТЫ С ПОВЫШЕННОЙ АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

**Горбунова М.Н.<sup>1</sup>, Овчарук А.В.<sup>2</sup>, Кучеренко Е.А.<sup>1</sup>, Лемкина Л.М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> «ИТХ УрО РАН», Пермь, ул. Королева 3

<sup>2</sup> ПГНИУ, Пермь, ул. Букирева 15

<sup>3</sup> «ИЭГМ УрО РАН», Пермь, ул. Голева 13

E-mail: mngorb@yandex.ru

В последние годы все большее внимание и интерес вызывают полимерные системы носителей лекарственных средств [1]. С этой точки зрения перспективными являются полиамфолиты, содержащие катионные и анионные группы и обладающие амфотерными свойствами.

Полиамфолиты на основе 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида (АГХ) и непредельных карбоновых кислот были синтезированы методом радикальной полимеризации в присутствии ДАК. Наличие карбоксильных групп в полиамфолитах открывает возможности для введения различных лекарственных препаратов путем полимераналогичных превращений.

Иммобилизацию лекарственных средств (изониазида и ампициллина) на полиамфолиты осуществляли методом полимераналогичных превращений в воде или растворе этанола. Строение полимерных продуктов подтверждено данными элементного анализа, ИК- и ЯМР-спектроскопии.

Показано, что сочетание двух биоцидных групп в одной молекуле приводит к синергетическому усилению антибактериальных свойств модифицированных полиамфолитов. Минимальная ингибирующая концентрация полиамфолитов, модифицированных ампициллином, в отношении ряда микроорганизмов (*S. Epidermidis*, *S. Pyogenes*, *B. Subtilis*, *M. Luteus*, *P. aeruginosa*) ниже, чем исходного антибиотика ампициллина.

Таким образом, модификация полиамфолитов различными препаратами позволяет получать полимерные соединения с повышенной антимикробной активностью. Полученные результаты показали перспективность полученных полиамфолитов для создания новых антисептиков и антибактериальных средств.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00073).

Авторы благодарят Центр коллективного пользования ПФИЦ УрО РАН «Исследование материалов и вещества» за спектральные, аналитические и биологические исследования.

### Ссылки

[1] Villarreal-Gómez L.J. (ed.) Drug Carriers. – London: IntechOpen Limited, 2022.

УДК 615.281.9

## БИОПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПЕПТИДНЫХ АНТИБИОТИКОВ С УЛУЧШЕННЫМИ БИОФАРМАЦЕВТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

**Дубашинская Н.В., Бокатый А.Н., Боровской А.Ю., Доля Д.А., Скорик Ю.А.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О. 31  
E-mail: dubashinskaya@gmail.com*

Использование различных биополимерных систем доставки в виде полиэлектролитных частиц и конъюгатов позволяет увеличить биодоступность пептидных антибиотиков (полимиксины) и снизить их токсичность [1], а также модифицировать скорость высвобождения [2,3]. Таким образом можно программировать и контролировать профиль высвобождения антибиотика и снижать его дозировку и токсичность [4,5]. Использование различных адъювантов (например, сидерофоров в комплексе с ионами  $Fe^{3+}$ ) позволяет усилить антимикробную активность, что увеличивает биодоступность и снижает токсичность полимиксинов. Кроме того, модификация лигандами нацеливания (например, цианокобаламином) обеспечивает усиление всасывания пептидных антибиотиков при пероральном применении, а использование мукоадгезивных биополимеров обеспечивает их пролонгированное время нахождения на слизистой. Наконец, биополимерные системы доставки позволяют значительно снизить нефро-и нейротоксичность полимиксинов, демонстрируя перспективность для клинического применения в качестве наноантибиотиков [6,7].

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-73-20157-П).

### **Ссылки**

- [1] Dubashynskaya N.V., Skorik Y.A. Polymyxin delivery systems: Recent advances and challenges// *Pharmaceuticals*. – 2020. – Vol. 13. – №. 5. – P. 83.
- [2] Dubashynskaya N.V. et al. Hyaluronan/diethylaminoethyl chitosan polyelectrolyte complexes as carriers for improved colistin delivery// *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – Vol. 22. – №. 16. – P. 8381.
- [3] Dubashynskaya N.V. et al. Hyaluronan/colistin polyelectrolyte complexes: Promising antiinfective drug delivery systems// *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2021. – Vol. 187. – P. 157-165.
- [4] Dubashynskaya N.V. et al. Hyaluronan-colistin conjugates: Synthesis, characterization, and prospects for medical applications// *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2022. – Vol. 215. – P. 243-252.
- [5] Dubashynskaya N.V. et al. Succinyl chitosan-colistin conjugates as promising drug delivery systems// *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – Vol. 24. – №. 1. – P. 166.
- [6] Dubashynskaya N.V. et al. Cyanocobalamin-Modified Colistin–Hyaluronan Conjugates: Synthesis and Bioactivity// *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24. – №. 14. – P. 11550.
- [7] Dubashynskaya N.V. et al. Hyaluronan/B12-chitosan polyelectrolyte complex for oral colistin administration// *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – P. 130177.

УДК 541.49+541.65

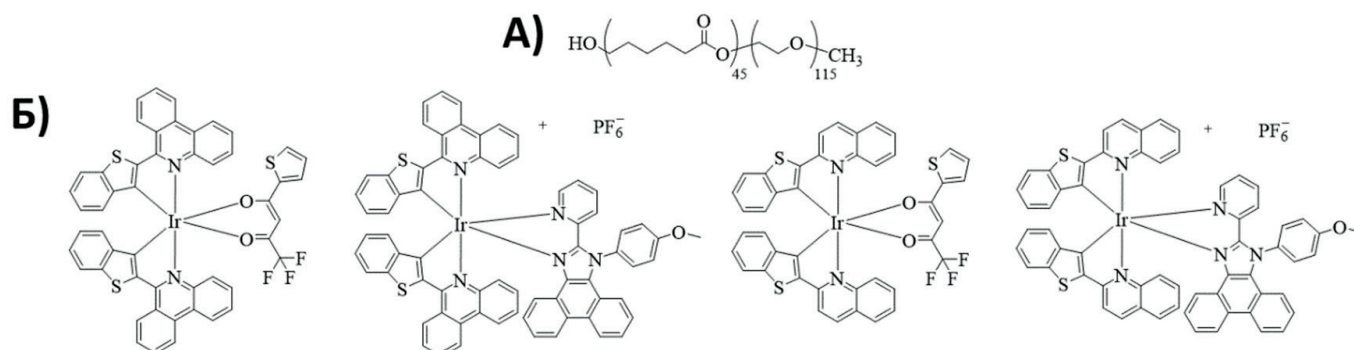
## КИСЛОРОДНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ИРИДИЯ(III) В МИЦЕЛЛАХ АМФИФИЛЬНОГО ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРА КАПРОЛАКТОНА И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ

**Калинин Н.С.,** Елистратова А.А., Жарская Н.А., Стащак В.С., Критченков И.С.,  
Шакирова Ю.Р.1, Челушкин П.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,  
г. Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 26  
E-mail: st086366@student.spbu.ru

Молекулярный кислород – это важный компонент, необходимый для развития и роста организма, участник множества биологических процессов. Для мониторинга уровня его содержания в клетках и тканях активно используется оптическая визуализация фосфоресцентными комплексами переходных металлов, причём более предпочтительной является их внедрение в различные полимерные наночастицы [1].

В работе представлены мицеллы на основе диблок-сополимера капролактона и этиленгликоля PCL<sub>45</sub>-b-PEG<sub>115</sub> (Рис. 1. А), загруженные комплексами Ir(III) с разными циклометаллирующими и вспомогательными лигандами (Рис. 1. Б), приведены их гидродинамические (распределения по размерам, R<sub>h</sub> и ζ-потенциалы) и фотофизические характеристики (спектры поглощения, возбуждения и люминесценции). Также была определена цитотоксичность фосфоресцентных мицелл по отношению к линии клеток CHO-K1 и проведено картирование кислорода внутри клеток. Продемонстрирован высокий потенциал применимости таких мицелл в качестве сенсоров на кислород (моноэкспоненциальность кривых спада люминесценции, высокие константы Штерна-Фольмера, независимость сенсорного сигнала от варьирования параметров среды).



**Рисунок 1.** А) Структуры комплексов Ir(III); Б) Структура блок-сополимера PCL45-b-PEG115.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 24-23-00275) с использованием оборудования Ресурсных Центров Научного Парка СПбГУ: Методы анализа состава вещества; Магнито-резонансные методы исследования; Диагностика функциональных материалов; Оптические и лазерные методы исследования вещества.

### Ссылки

[1] D. B. Papkovsky, R. I. Dmitriev // Chemical Society Reviews – 2013. Vol. 42, № 22. – P. 8700.

УДК 577.323

## ВЛИЯНИЕ ИОННЫХ УСЛОВИЙ, pH СРЕДЫ, КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ С МАЛЫМИ ЛИГАНДАМИ НА ПЕРСИСТЕНТНУЮ ДЛИНУ ДНК

**Касьяненко Н.А.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, 199034, Университетская наб. 7/9  
E-mail: n.kasyanenko@spbu.ru*

Молекула ДНК является весьма жестким и сильно заряженным полимером. Ее первичная структура, определяющая генетическую информацию всех организмов, обеспечивает высокую однородность полимера, формирующего в растворе классический статистический клубок. Внешняя часть двойной спирали – гидрофильный сахаро-фосфатный остов - отличается чрезвычайно высокой плотностью заряда, внутри же спирали находится стопкообразная структура четырех типов гидрофобных гетероциклических азотистых оснований, чередование которых является уникальным для каждой макромолекулы. Важно подчеркнуть, что физико-химические свойства четырех оснований практически не отличаются, и даже расположение атомов азота в их бензольных и имидазольных кольцах совпадает. Вместе с тем, удивительная способность макромолекулы изменять свою конформацию в зависимости от условий среды и в связи с необходимостью выполнять те или иные биологические функции требует подробного изучения. В основе конформационных превращений ДНК в значительной степени лежат электростатические взаимодействия вместе с амфифильной природой макромолекулы. Огромную роль в конформационных изменениях ДНК играет ее жесткость. Появление новых объектов исследования с участием ДНК, например, при изучении молекулярного механизма действия биологически активных соединений, при рассмотрении сопряжения ДНК с наночастицами благородных металлов, при компактизации макромолекулы в составе ДНК-полимерных комплексов, - требует информации о конформационных характеристиках макромолекулы. Определение равновесной жесткости (персистентной длины) ДНК при ее взаимодействии с различными объектами необходимо и для понимания функционирования этой макромолекулы *in vivo*, и для предсказания функциональных свойств новых систем, формируемых для решения различных задач в области биологии и медицины. В работе проводится анализ влияния условий среды (pH, ионной силы) и взаимодействия с различными агентами (ионами различной валентности, потенциальными противоопухолевыми соединениями, наночастицами) на вторичную и третичную структуру молекулы ДНК, на ее персистентную длину. Используются данные, полученные методами динамического двойного лучепреломления, вискозиметрии, УФ- спектроскопии, кругового дихроизма динамического рассеяния света и атомной силовой микроскопии.



УДК 544.777

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ ВВЕДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В МАТРИЦУ КРИОГЕЛЯ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

**Колосова О.Ю., Лозинский В.И.**

*ИНЭОС РАН им. А.Н. Несмеянова, Москва, ул. Вавилова 28  
E-mail: kolosova@ineos.ac.ru*

Макропористые гели, получаемые методом «замораживания-оттаивания» растворов поливинилового спирта (криогели ПВС) находят применение в биомедицинских областях, например, в качестве покрытий на раны и ожоги, временных имплантатов, сердечных клапанов [1].

В данной работе были получены криогели ПВС, содержащие добавки аминокислот гомологического ряда  $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$  ( $n=1-5$ ) от глицина до аминокaproновой кислоты. Добавки аминокислот в криогели ПВС были включены двумя путями: введением в состав исходного раствора полимера до его криогенной обработки, или насыщением – то есть выдерживанием в водном растворе аминокислоты заранее сформированного криогеля. Были оценены модули упругости и теплостойкость криогелей ПВС, содержащих добавки таких аминокислот. Показано, что аминокислоты этого гомологического ряда проявляют космотропные свойства и приводят к повышению жесткости и теплостойкости материалов. Также была изучена динамика высвобождения этих аминокислот из матрицы криогелей ПВС и показано, что высвобождение аминокислот из матрицы криогеля ПВС протекает без диффузионных затруднений. Изучена макропористая структура криогелей ПВС с добавками этих аминокислот.

Установлено, что возможно использование обоих способов для получения криогелей ПВС с добавками аминокислот данного гомологического ряда общей формулы  $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$  ( $n=1-5$ ).

Полученные данные позволяют говорить о потенциальной возможности применения криогелей ПВС с добавками аминокaproновой кислоты – широко используемого кровеостанавливающего агента – в качестве покрытий на раны.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания №075-03-2023-642 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### **Ссылки**

[1] Lozinsky V.I. Cryostructuring of Polymeric Systems. 55. Retrospective View on the More than 40 Years of Studies Performed in the A.N.Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds with Respect of the Cryostructuring Processes in Polymeric Systems// Gels.- 2020- V.6 -article 29

00.02.06

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ: ОСОБЕННОСТИ БИОЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ

**Локова А.Ю.<sup>1</sup>, Панова И.Г.<sup>1</sup>, Лойко Н.Г.<sup>2</sup>, Багров Д.В.<sup>3</sup>, Николаев Ю.Н.<sup>2</sup>, Ярославов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН,  
Москва, Ленинский просп., 33, стр. 2*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12  
nasta906@rambler.ru*

Для борьбы с патогенными микроорганизмами активно используются катионные полиэлектролиты (ПЭ). Положительно заряженные функциональные группы в составе ПЭ инактивируют бактерии за счёт электростатического взаимодействия с ними. В последнее время в качестве антимикробных рецептов предложены интерполиэлектролитные комплексы (ИПЭК), полученные из катионного поли(диаллилдиметиламмоний хлорида) со степенью полимеризации  $P_n = 2900$  (ПДАДМАХ) и анионного полиакрилата натрия (ПАН). В работе исследована антимикробная активность покрытий, сформированных из ИПЭК с избытком катионного ПДАДМАХ.

Покрyтия получали путём нанесения водного раствора ИПЭК на поверхность стеклянной пластинки и высушивания образца до постоянного веса. Показано, что покрытия смываются с поверхности стекла при его обработке водой. Тонкий полимерный слой толщиной менее 20 нм, оставшийся на стекле после 6 циклов промывки–сушки, проявляет высокую антимикробную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. Дополнительно были исследованы особенности связывания ИПЭК с модельными липидными везикулами (липосомами). ИПЭК, сформированные полианионом со степенью полимеризации  $P_n = 85$ , при контакте с липосомами диссоциируют на исходные составляющие; ИПЭК, в состав которых входит полианион со степенью полимеризации 2660, связываются с липосомами без разрушения. Диссоциирующие ИПЭК проявляют антимикробную активность, сравнимую с индивидуальным поликатионом; стабильные ИПЭК обладают меньшей антимикробной активностью. Эти результаты указывают на определяющую роль соотношения размеров макромолекул, формирующих поликомплекс, на биологическую активность ИПЭК по отношению к бактериальным клеткам.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-13-00124).

УДК

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИЭФИРОВ ПРИРОДНЫМИ АМИНОКИСЛОТАМИ

**Нащекина Ю.А.<sup>1</sup>, Чабина А.С.<sup>1</sup>, Нашекин А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, 194064, Тихорецкий пр., д.4

<sup>2</sup>ФТИ им. А.Ф.Иоффе, г. Санкт-Петербург, 194021, ул. Политехническая., д.26

E-mail: nashchekina.yu@mail.ru

Полимерные материалы на основе полигидроксиэфиров находят широкое применение в регенеративной медицине. Благодаря широкому спектру физико-химических свойств данные полимерные материалы могут быть использованы для восстановления различных органов и тканей с разными физико-механическими параметрами. Не смотря на ряд достоинств, существенным недостатком этих полимеров является их невысокая биосовместимость и отсутствие сайтов связывания для прикрепления клеток. Существующие способы модификации не всегда являются оптимальными, с точки зрения сохранения их физических свойств, времени деградации и структурных характеристик. Целью настоящего исследования является разработка эффективного способа модификации поверхности полимера, обеспечивающего увеличение биосовместимости за счет реакции аминоллиза природными аминокислотами аргинином и лизином.

Для анализа эффективности разрабатываемых условий модификации использовали такие методы оценки поверхности как сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, ИК-спектроскопия. Биосовместимость оценивали путем анализа взаимодействия мезенхимных стромальных клеток с модифицированными полимерными материалами.

В результате проведенных исследований были разработаны эффективные условия модификации поли(D, L - лактида) и поли( $\epsilon$ -капролактона) природными аминокислотами – аргинином и L-лизином. В результате реакции аминоллиза максимальное количество аминокислоты связывается с полимерной поверхности при добавлении изопропилового спирта и нагревании до 40°C. Формирование амидных связей, образующихся в результате реакции аминоллиза было подтверждено методом ИК-спектроскопии. Методами СЭМ и АСМ было продемонстрировано измерение морфологии поверхности полимерных пленок. При анализе гидрофильности модифицированных в результате аминоллиза пленок было показано, что все условия модификации аргинином и лизином, а именно варьирование температуры, а также изменение полярности среды за счет добавления изопропилового спирта способствовало увеличению гидрофильности поверхности. При культивировании мезенхимных стромальных клеток человека на модифицированных пленках была доказана эффективность всех способов модификации.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (Соглашение No 21-74-20120).

УДК

**«УМНЫЕ» ФОТОСШИВАЕМЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ  
ГИДРОКСИПРОПИЛГУАРА****Оспенников А.С., Шибяев А.В., Филиппова О.Е.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: ospennikov@polly.phys.msu.ru*

Полимерные гели представляют собой набухшие в растворителе длинные полимерные цепи, сшитые друг с другом поперечными ковалентными связями (сшивками) в единую пространственную сетку. В последнее время большой интерес прикован к восприимчивым гелям или по-другому – «умным» материалам, т.е. материалам, способным реагировать на небольшие изменения во внешней среде. В зависимости от воздействия, которое вызывает набухание или коллапс, восприимчивые гели можно разделить на термо-, фото- и рН-чувствительные.

В данной работе получены новые гидрогели с двойной сшивкой ГПГ-МА-ФБК на основе биоразлагаемого полисахарида гидроксипропилгуара (ГПГ). Они содержат два типа сшивок, различающихся по силе и обратимости: сильные необратимые сшивки между группами метакрилового ангидрида (МА) и слабые обратимые сшивки между звеньями 3-(акриламидо)фенилбороновой кислоты (ФБК) и ГПГ. Было показано, что дополнительные лабильные поперечные связи не только укрепляют гель за счет увеличения его модуля упругости, но также придают чувствительность к рН, что можно использовать для контроля эластичности, размера пор, набухания гелей, а также поглощение и выделение некоторых веществ, например дезинфицирующих средств.

Поскольку гидрогели ГПГ-МА-ФБК синтезируются методом фотосшивания, их можно использовать для покрытия различных поверхностей *in situ*. Такое покрытие с контролируемыми механическими свойствами может служить «умной матрицей» для пролонгированного высвобождения дезинфицирующих средств, что ограничит распространение различных инфекций, включая COVID-19.

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-13-00177)

## ЛАМИНИРУЮЩИЕ ПОЛИСАХАРИДНЫЕ ПЛЁНКИ ДЛЯ ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

**Плеханов А.Ю.<sup>1</sup>, Шишлянников С.М.**

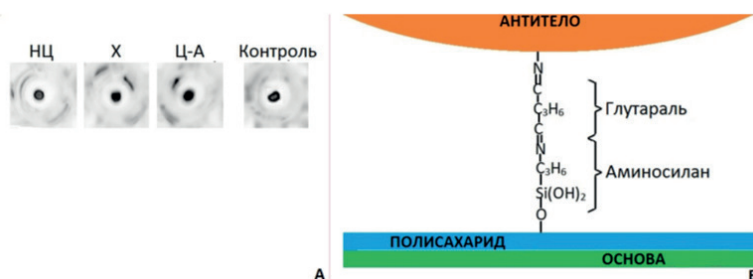
<sup>1</sup> ФГБУ «НИИ группа им. А.А. Смородинцева» МЗ РФ,  
Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова 15/17

<sup>2</sup> Институт биомедицинских систем и биотехнологии ФГАОУВО «СПб Политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, ул. Хлопина, 11к1  
E-mail: aplekhanov@mail.ru

Разработанные нами тонкие ( $10^{-5}$ - $10^{-6}$  м) полисахаридные плёнки, формируемые на поверхности полистирола, поликарбоната и стекла, прозрачны, имеют хорошую адгезию и сорбционную ёмкость не менее 1,5  $\mu\text{г}$  (~10 пмоль) антител на  $\text{мм}^2$  (Рис.1А).

Так, для ламинирования лунок полистирольного планшета для микрореакций мы наносили по 30-40  $\mu\text{л}$  0,1% раствора соответствующего полисахарида (см. подпись к Рис. 1) в подходящем растворителе в лунку. При высыхании растворителя на дне лунок формировались полисахаридные плёнки. Плёнки, не несущие аминогрупп, обрабатывали аминосиланом (APTES). После обработки глутаровым альдегидом полученные полисахаридные плёнки могли ковалентно связывать белки (Рис. 1Б).

Традиционно для улучшения связывания белков стеклянную или полимерную основу модифицируют в агрессивных условиях [1]. Так же поступают для фиксации полисахаридов. Тем не менее, полисахариды сами по себе достаточно клейки для образования пленки на основе, и их легче модифицировать, чем основу (например, с использованием функциональных силанов). Разработанная методика позволяет избежать агрессивных условий или использования специального оборудования.



**Рисунок 1.** Иммунизация флуоресцентно меченых антител в лунках полистирольного планшета, ламинированных полисахаридными плёнками.

А: Флуоресценция антител, сорбированных из капли 300 нл 0,5%-ного раствора.

Материал подложки: НЦ — нитроцеллюлоза (далее обработанная аминосиланом), Х — хитозан, Ц-А — композит целлофан-аминосилан. Контроль — капля 300 нл антител.

Б: схема иммобилизации.

### Благодарность

Работа выполнялась в рамках Государственного задания МЗ РФ № 056-00012-23-01

### Ссылки

[1] Debela A.M., Gonzalez C., Pucci M., Hudie S.M., Bazin I. Surface Functionalization Strategies of Polystyrene for the Development Peptide-Based Toxin Recognition // Sensors (Basel). — 2022. Vol. 22, № 23. — P. 9538.



УДК: 50.501

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ рН-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ЩЕТОК С АМФОЛИТНЫМИ НАНОКОЛЛОИДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ПРИБЛИЖЕНИИ САМОСОГЛАСОВАННОГО ПОЛЯ

**Попова Т.О.<sup>1,2</sup>, Жулина Е.Б.<sup>1</sup>, Борисов О.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, 199004, г. Санкт-Петербург, В.О., Большой просп., д. 31.*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, лит. А  
E-mail: salamatovat170301@gmail.com*

Исследования взаимодействий полиэлектролитных щеток с глобулярными белками (рН-чувствительными полиамфолитными нанокolloидами) представляют значительный научный интерес и имеют важное значение для понимания процессов взаимодействия полимеров с биологическими молекулами. Такие системы могут применяться в различных областях: адресная доставка лекарств, очистка белка и создание коллоидных бионанореакторов. Рассматриваемая система состоит из плоской/сферической полиэлектролитной (ПЭ) щетки, цепи которой представлены рН-чувствительными полиэлектролитами, несущими положительный/отрицательный заряд, и нанокolloидной частицы (НЧ) с заданными характеристиками: соотношением катионных и анионных групп на поверхности и их константами ионизации. Изучение описанной системы проводилось в рамках приближения самосогласованного поля Пуассона – Больцмана. В работе исследуются зависимости (i) толщины щетки, (ii) электростатического потенциала от архитектурных параметров щетки и внешних условий среды (рН и ионная сила раствора), а также зависимость (iii) абсорбции НЧ ПЭ щеткой на «неправильной» стороне изоэлектрической точки (ИЭТ), то есть, когда НЧ и щетка имеют одинаковый знак заряда. Показано, что контролировать такую абсорбцию возможно путем изменения (i) внешних условий среды, (ii) параметров НЧ, (iii) архитектуры щетки. Интересно, что абсорбция белков рН-чувствительной ПЭ щеткой качественно отличается от абсорбции сильной (не рН-чувствительной) щеткой за счет изменения степени ионизации щетки по мере приближения к поверхности прививки.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23–13–00174.

УДК 691.175.5/8:544.722.023.2

## САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИТИТАНОКСИД, И ИХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

**Саломатина Е.В., Смирнова О.Н., Смирнова Л.А.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия  
E-mail: salomatina\_ev@mail.ru*

В связи с ускорением процесса урбанизации и развитием промышленности во всем мире проводятся масштабные исследования, связанные со снижением экологической нагрузки на окружающую среду. Одной из актуальных задач в этом направлении является разработка самоочищающихся полимерных покрытий, способных преобразовывать вредные вещества в безопасные и уничтожать болезнетворные бактерии. Такие материалы могут быть созданы на основе фотоактивного диоксида титана анатазной полиморфной модификации.

В работе исследованы способность к самоочищению и антибактериальные свойства материалов на основе наноструктурированного полититаноксида (ПТО) в органических оптически прозрачных полимерных матрицах различной природы. Установлено, что под действием УФ-света в ПТО происходит одноэлектронный переход  $Ti^{4+} + e^{-} \rightarrow Ti^{3+}$  с обратимым разрывом связи Ti–O и вследствие этого генерированием на поверхности материалов супероксидных и гидроксильных радикалов. Это приводит к проявлению их супергидрофильных свойств; угол смачивания обратимо изменяется в пределах  $92^{\circ} \leftrightarrow 7^{\circ}$ . Это определяет высокий потенциал использования композитов в качестве «умных» самоочищающихся покрытий в условиях окружающей среды. На примере стеариновой кислоты доказана способность материалов к разложению органических загрязнителей поверхности при световом воздействии. Генерирование активных форм кислорода и радикалов обуславливает не только фотокаталитическую активность материалов и их самоочистку, но и предполагает их антибактериальные свойства. Доказано, что на поверхности образцов происходит разложение патогенных бактерий – *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*. Исследования были проведены для материалов, предварительно облученных УФ-светом в течение 1 часа. На их поверхности были нанесены колонии бактерий и через 10-15 минут произведены смывы с них. В результате наблюдалось уничтожение 80% *Escherichia coli* и 100% *Staphylococcus aureus*.

Доказана стабильность комплекса свойств покрытий на основе разработанных композитов – адгезионных, физико-механических, теплофизических, оптических, способности к обратимой гидрофилизации, фотокаталитической и антибактериальной активности – при моделировании их пролонгированной эксплуатации в естественных условиях, соответствующих европейской части России.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-74-10069).

УДК 577.112, 577.114, 577.115

## СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ ПЕРОРАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ЛИПОСОМАЛЬНЫХ ФОРМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**Семёнова М.Г., Антипова А.С., Мартиросова Е.И., Зеликина Д.В., Анохина М.С.,  
Пальмина Н.П., Богданова Н.Г.**

*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
119334 Москва, ул. Косыгина д.4  
E-mail: mariagersem@mail.ru*

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к новым возможностям и перспективам использования биополимеров (белков и полисахаридов), выделяемых из возобновляемого природного сырья [1]. Изолят глобулярных сывороточных белков молока и хитозан (75% степени деацетилирования) были использованы, как биополимерное покрытие для липосом фосфатидилхолина, загруженных различными комбинациями нутрицевтиков (длинноцепочечными омега-3 ПНЖК, эвгенола,  $\beta$ -каротина и куркумина). При этом, биополимеры обеспечивали >80% степень инкапсулирования липосом. Высокий  $\zeta$ -потенциал, наноразмеры и термодинамически благоприятные взаимодействия с водной средой обеспечивали растворимость полученных супрамолекулярных комплексов биополимеры–липосомы в водной среде. Найдены прямые корреляции между плотностью комплексных частиц и их защитными способностями по отношению к нутрицевтикам. Трансформация структурных параметров (молярной массы, плотности, архитектуры, термодинамического сродства к растворителю) супрамолекулярных комплексов под действием пищеварительных ферментов *in vitro* обеспечивала контроль за биодоступностью липосом. Определённый характер взаимодействия гидролизованых супрамолекулярных комплексов и выпущенных липосом с муцином, гликопротеином мукозной ткани пищеварительного тракта, позволил сделать предположения о влиянии этих взаимодействий на биоусвоение нутрицевтиков. Основные методы исследования включали лазерное светорассеяние в статическом, динамическом и электрофоретическом режимах, ЭПР спектроскопию, тензиометрию, спектрофотометрию, ПЭМ.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 21-16-00085: С.М.Г., А.А.С., М.Е.И., З.Д.В., П.Н.П., и, а также Министерства науки и высшего образования РФ (номер госрегистрации темы исследования: 122041300204-1): А.М.С., Б.Н.Г.

### **Ссылки**

[1] Falsafi, S. R. Protein-polysaccharide interactions for the fabrication of bioactive-loaded nanocarriers: chemical conjugates and physical complexes / S. R. Falsafi, H. Rostamabadi, K. Samborska, S. Mirarab, A. Rashidinejad, S. M. Jafari // *Pharmacol. Res.*– 2022. Vol. 178.– 106164.

УДК 541.64: 539.199

## МЕХАНИЗМ АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОТОНИРОВАННЫХ ПОЛИДИАЛЛИЛАМИНОВ, ВЛИЯНИЕ КОНЦЕВЫХ ГРУПП НА ИХ АНТИМИКРОБНУЮ АКТИВНОСТЬ И ТОКСИЧНОСТЬ

**Симонова Ю.А.<sup>1</sup>, Еременко И.В.<sup>1</sup>, Шлеева М.О.<sup>2</sup>, Еропкин М.Ю.<sup>3</sup>,  
Бондаренко Г.Н.<sup>1</sup>, Тимофеева Л.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиев РАН, Москва, Ленинский пр.-т., д.29

<sup>2</sup>Институт биохимии им. А.Н. Баха, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Ленинский пр., д. 33

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

Впервые доказано прямое взаимодействие молекул адсорбированного полимера с молекулярным компонентом внешней мембраны бактерии. Исследовано взаимодействие протонированных диаллиламмониевых полимеров с микобактерией *M. smegmatis* (как ближайшего быстрорастущего родственника *M. tuberculosis*). Используя соединение фенил-глюкуронид (ФГ), моделирующее гликозилированную фенольную часть молекул фенольных гликолипидов (ФГЛ), образующих наружный слой внешней мембраны микобактерии, методом ИК-Фурье показано, что при взаимодействии молекул полимера поли(диаллиламмоний трифторацетат) (ПДААТФА) с ФГ образуется сильный интермолекулярный комплекс [1]. По данным флуоресцентной микроскопии и трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ), такое действие протонированных полимеров ПДААТФА на клетки *M. smegmatis* приводит к нарушению целостности внешней липидной мембраны, дальнейшему нарушению проницаемости внутренней мембраны и гибели клетки.

Обнаружено существенное влияние концевых групп полимеров на их активность и токсичность. Так, присутствие полярной дитиокарбонильной группы, характерной для полимеров, полученных методом ОПЦ-полимеризации, значительно увеличивает не только биоцидную активность, в частности, относительно *S.aureus* и *P.aeruginosa*, но и токсичность ПДААТФА. Важно отметить, что самый низкомолекулярный из испытанных полимеров - с ММ 8 кДа, но имеющий концевую дитиокарбонильную группу показал токсичность, сравнимую с образцами с ММ в пять раз выше. Этот результат аналогичен данным, полученным по антимикробной активности ОПЦ-полимеров.

### Благодарность

Работа выполнена частично в рамках гранта РНФ, проект №23-23-00420

### Ссылки

[1] Timofeeva, L. On the molecular mechanism of nonspecific antimicrobial action of protonated diallylammonium polymers on mycobacterial cells/ Timofeeva L., Bondarenko G., Nikitushkin V., Simonova Y., Topchiy M., Eremenko I., Shleeva M., Mulyukin A., Kaprelyants A. // Europ. Polym. J. – 2022. – Vol. 171. – P. 111214-111229.

УДК 66.095.26-922;546.41.

## ДИСПЕРСИИ КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ: МОДЕЛИРОВАНИЕ БИМИНЕРАЛИЗАЦИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Стрелова М.С., Даниловцева Е.Н., Пальшин В.А., Зелинский С.Н., Анненков В.В.**

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск.*

*E-mail: mariya.strelova.96@mail.ru*

Формирование карбоната и фосфата кальция в присутствии органических полимеров является моделью процесса образования скелетов в живых организмах – биоминерализации, в ходе которого образуются органо-неорганические материалы, упорядоченные на нано- и микроуровнях. Понимание механизма биоминерализации позволяет использовать её принципы в областях, где необходима тонкая настройка структуры продуктов, таких как регенеративная медицина и разработка сенсоров. Согласно существующим представлениям, прекурсорами твердых материалов в живых организмах являются неорганические наночастицы, стабилизированные биополимерами. Выделение, точное установление структуры этих биополимеров и использование их в экспериментах по биоминерализации *in vitro* затруднительно. Использование синтетических полимеров как более простых моделей позволяет изучить характеристики органо-неорганических частиц и определить влияние природы функциональных групп полимера и их соотношения на процесс минерализации.

В данной работе использованы как известные, так и специально синтезированные водорастворимые сополимеры, содержащие карбоксильные, аминные и имидазольные группы. Изучено образование карбоната и фосфата кальция при взаимодействии неорганических солей в присутствии органических макромолекул. В зависимости от состава сополимера, получены стабильные от 3 часов до нескольких недель дисперсии частиц размерами 30-1000 нм или осадки контролируемой морфологии. Заряд частиц определялся природой стабилизирующего полимера, карбоксильные группы способствовали отрицательному заряду, полимерные основания – положительному. Изучена возможность формирования твердых материалов при взаимодействии органо-неорганических частиц с частицами противоположного заряда. Получены пористые костеподобные материалы и покрытия с повышенной плотностью аминогрупп. Показана возможность минерализации клеточной стенки модельных одноклеточных организмов (динофлагелляты) с использованием положительно заряженных частиц фосфата кальция.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при поддержке МИНОБРНАУКИ России, проект № 122012600070-9.



УДК 541.64; 551.464.797.9

## НОВЫЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИ-АМИННЫХ ПОЛИМЕРОВ С ТЕТРААРИЛПОРФИРИНАМИ

**Тимохова Н.В.<sup>1</sup>, Цыклинская А.М.<sup>2</sup>, Жаворонок Е.С.<sup>1</sup>, Бирин К.П.<sup>2</sup>,  
Грамматикова Н.Э.<sup>3</sup>, Сенчихин И.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> РТУ МИРЭА, ИТХТ им. М.В. Ломоносова, Россия 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д.86;

<sup>2</sup> ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;

<sup>3</sup> НИИ по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе,  
Россия 119435, г. Москва, Большая Пироговская ул., д.11, стр.1

E-mail: timokhova.n.v@mail.ru

Бактериальная контаминация и слои биопленок, образующиеся на поверхностях материалов и изделий, могут приводить к развитию тяжелых клинических инфекций. Для предотвращения такой опасности известны различные подходы, основанные на модификации материалов бактерицидными добавками, в том числе производными полиаммониевых веществ, соединениями некоторых металлов и антибиотиками [1]. Однако использование токсичных активных веществ может вызвать негативные последствия у человека и млекопитающих – такие, как повышенная чувствительность, воспалительные реакции и даже выработка резистентности к антибиотикам. Одной из альтернатив является использование модификаторов, антибактериальное действие которых основано на генерировании активных форм кислорода, химически реагирующих с биологическими структурами патогенов и повреждающих их. Типичным примером таких модификаторов являются порфирины [2]. Настоящая работа посвящена исследованию возможности модификации порфиринами эпокси-аминных систем, как распространенных основ полимерных покрытий, и оценке антибактериальных свойств полученных образцов.

В качестве основных компонентов использовали диановый эпоксидный олигомер ЭД-20 ( $M_n=382$ ) с отвердителем олигооксипропилендиамином Jeffamine ( $M_n=230$ ), смесь которых модифицировали мезо-тетра-(4-бутоксифенил)-порфирином, мезо-тетра-(4-октилксифенил)-порфирином и мезо-тетра-(4-бутоксифенил)-порфирином цинка (II). Антибактериальную активность образцов оценивали глубинным методом по отношению к G+ *Staphylococcus aureus* ATCC 29213.

В рамках исследования определены оптимальные условия введения порфиринов в эпоксиаминные матрицы. Показано, что отвержденные пленки с модификатором после предварительного облучения обладают выраженным бактерицидным действием по отношению к *S. aureus* при максимальной концентрации  $\approx 21$  мкМ. Это делает полученные пленки перспективными для создания новых антибактериальных покрытий.

### Ссылки

[1] Siedenbiedel F. Antimicrobial Polymers in Solution and on Surfaces: Overview and Functional Principles / F. Siedenbiedel, J.C. Tiller // Polymers. - 2012. - № 4. - P. 46–71.

[2] Bozja J. Porphyrin-based, light-activated antimicrobial materials / J. Bozja, J. Sherrill, S. Michielsen., I. Stojiljkovic // J. of Polym. Sci. Part A. – 2003. – V 41. – №15. – P.2297-2303.

УДК 541.49+541.65

## РАЗГОРАНИЕ ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ [Pt(C<sup>N</sup>\*N<sup>^C</sup>)], ВЫЗВАННОЕ ИХ АГРЕГАЦИЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ МИЦЕЛЛАХ

**Челушкин П.С., Жарская Н.А., Соломатина А.И., Туник С.П.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский проспект, 26  
E-mail: p.chelushkin@spbu.ru*

В последнее десятилетие интенсивно исследуется эффект разгорания фосфоресценции, вызванной агрегацией металлоорганических комплексов. Несмотря на значительный фундаментальный интерес к данному явлению, в данный момент очень мало внимания уделено разработке макроскопических или наноразмерных материалов с усиленной фосфоресценцией агрегированных металлоорганических комплексов.

В работе представлены результаты исследования полимерных мицелл на основе серии амфифильных диблок-сополимеров, состоящих из гидрофильного блока полиэтиленгликоля (длиной около 100 звеньев) и гидрофобных блоков полистирола, полибутадиена, полидиметилсилоксана и поликаролактона (длиной около 50 звеньев). Данные мицеллы включают в себя серию фосфоресцентных комплексов платины(II) структурного типа [Pt(C<sup>N</sup>\*N<sup>^C</sup>)].

В работе продемонстрировано, что проявление эффекта разгорания фосфоресценции характерно только для тех комплексов, для которых ранее была установлена способность к проявлению эффекта в водно-органических смесях [1]. Реализация эффекта разгорания фосфоресценции того или иного комплекса в ядре мицелл также зависит от типа блок-сополимера, при этом наиболее выраженный эффект наблюдается для блок-сополимерных мицелл на основе поликапролактона (аналогичный эффект наблюдается также и на плёнках гомополимера капролактона). Разгорание фосфоресценции сопровождается сдвигом эмиссии в ближнюю ИК область, что даёт возможность применения таких эмиттеров в люминесцентном биоимиджинге, в частности, в сенсинге кислорода, что было продемонстрировано на примере одного из комплексов, загруженных в полимерные мицеллы с поликапролактоновым ядром [2].

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 24-23-00275) с использованием оборудования Ресурсных Центров Научного Парка СПбГУ: Методы анализа состава вещества; Магнито-резонансные методы исследования; Диагностика функциональных материалов; Оптические и лазерные методы исследования вещества.

### **Ссылки**

[1] Solomatina A. I. et al. // Chemistry–A European Journal. – 2022. Vol. 28, № 64. – e202202207.

[2] Zharskaia N. A. et al. // Biosensors. – 2022. – V. 12. – №. 9. – 695.

УДК 544.77.052.2

## *mcl*-ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТЫ СПОСОБСТВУЮТ СТАБИЛЬНОСТИ ГИБРИДНЫХ КАТИОННЫХ ЛИПИД-ПОЛИМЕРНЫХ НАНОЧАСТИЦ В РАСТВОРЕ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

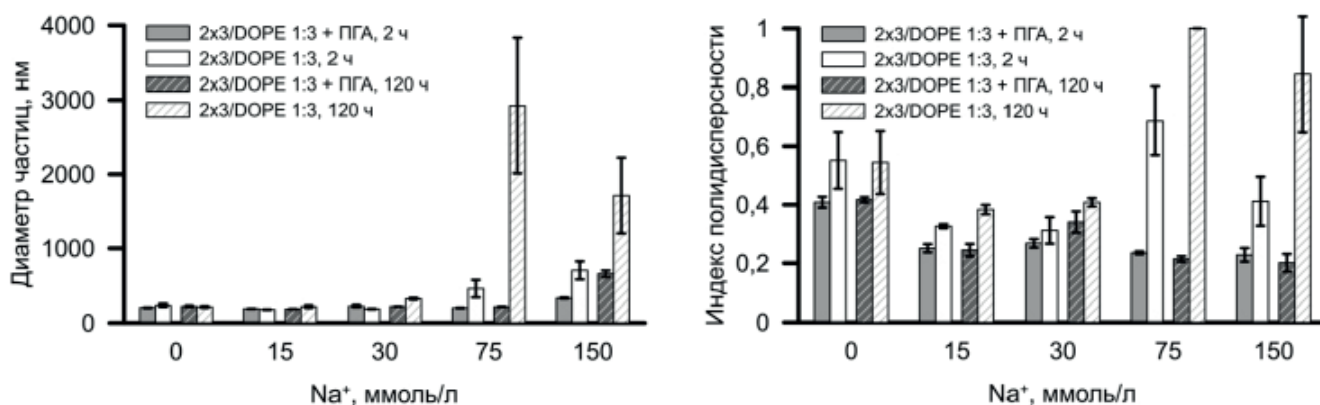
**Шишляников С.М.<sup>1,2</sup>, Зубков И.Н.<sup>1,2</sup>, Маслов М.А.<sup>3</sup>, Васин А.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29

<sup>2</sup> НИИ группа им. А.А. Смородиной, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова. 15/17

<sup>3</sup> РТУ – МИРЭА, ИТХТ им. М.В. Ломоносова, Москва, пр. Вернадского, 86  
E-mail: sershilin@gmail.com

Получены липид-полимерные наночастицы (ЛПН) с использованием катионных липосом (2X3-DOPE (1:3 mol/mol)) и биоразлагаемого полимера *mcl*-полигидроксиалканоата (*mcl*-ПГА), выделенного из биомассы почвенной бактерии *Pseudomonas helmanticensis* P1. Роль *mcl*-ПГА в увеличении стабильности катионных носителей в растворах сильных электролитов была оценена на основе данных динамического светорассеяния и электрофоретической подвижности (Рисунок 1). Уменьшение размера частиц и индекса полидисперсности при концентрациях Na<sup>+</sup> 15 мМ и 30 мМ для обоих видов частиц, вероятно, можно объяснить осмотическим сжатием, вследствие эластичной природой мембран. При увеличении концентрации ионов Na<sup>+</sup> значения размеров и индекса полидисперсности у катионных липосом увеличиваются, и при концентрациях ионов натрия 75 мМ и 150 мМ они агрегируют. При этом для частиц, содержащих *mcl*-ПГА, происходит уменьшение значения индекса полидисперсности, и частицы стабильны в данном растворе в течение 120 ч. Полученные результаты показывают, что ЛПН обладают потенциалом для дальнейших *in vivo* исследований внутриклеточной доставки нуклеиновых кислот.



**Рисунок 1.** Зависимости среднего диаметра частиц и их полидисперсности от молярной концентрации катиона натрия в буферном растворе.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-25-00165)

УДК 541.18

## ГЛАДКИЕ И ПЕРФТОРИРОВАННЫЕ ВЕЗИКУЛЫ НА ОСНОВЕ ЦВИТТЕРИОННОГО И НЕИОННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

**Хао Уи, Молчанов В.С., Филиппова О.Е.**

*МГУ имени М.В.Ломоносова, 199991, Москва, Ленинские Горы  
E-mail: Theohao51@gmail.com*

Молекулы поверхностно-активного вещества являются амфифильными, и при концентрациях, превышающих критическую концентрацию мицелл, они образуют агрегаты с различной структурой. Среди них широко изучаются везикулы. Везикула имеет замкнутую двухслойную структуру, состоящую из поверхностно-активных веществ, и может иметь различные размеры, варьирующиеся от десятков нанометров до десятков микрометров. Структуру также можно разделить на однослойный и многослойный типы. Также иногда встречаются перфорированные везикулы, имеющие «дырявую» поверхность. Везикулы имеют широкий спектр потенциальных применений, особенно в медицине, где их можно использовать в качестве микрокапсул для доставки лекарств, поскольку они способны содержать лекарство внутри себя.

В работе исследовалась смешанная система поверхностно-активных веществ на основе цвиттерионного поверхностно-активного вещества олеиламидопропилбетаина и неионного поверхностно-активного вещества олеиламидопропиламин. Эксперименты проводились при фиксированной общей молярной концентрации с различными соотношениями цвиттерионных и неионных поверхностно-активных веществ.

Реологические свойства системы были изучены с помощью ротационной реометрии. МУРН было использовано для определения структуры агрегации в растворе. Изображения, полученные с помощью КРИО-ПЭМ позволили непосредственно наблюдать структуру. Раствор с молярной долей неионного поверхностно-активного вещества от 0,25 до 0,33 содержит перфорированные везикулы, или так называемые стоматосомы. Согласно нашим данным полученные стоматосомы представляет собой агрегацию в форме везикулы, однако она не имеет двухслойной оболочки, а состоит из многосвязных ветвящихся мицелл. Стоматосома имеет широкий диапазон размеров от нескольких сотен нанометров до нескольких микрометров. По мере увеличения доли ОА выше 0,33 образуются стандартные гладкие везикулы, которые имеют небольшие диаметры. Эти переходы могут быть вызваны изменениями кривизны упаковки молекул в агрегатах. По мере добавления в раствор большего количества неионного поверхностно-активного вещества они располагаются между цвиттерионными молекулами увеличивают расстояние между ними, уменьшая диполь-дипольное отталкивание между ними.

УДК 543.442.3;547.1;547-304.2; 546.62; 678

## КОМПЛЕКСЫ АЛЮМИНИЯ НА ОСНОВЕ ДИЭТИЛЕНТРИАМИНОВ КАК ИНИЦИАТОРЫ ДЛЯ (СО)ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ И ЗАМЕЩЕННОГО КАРБОНАТА

**Агаева М.<sup>1,2</sup>, Манкаев Б.Н.<sup>1,2</sup>, Карлов С.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Химический факультет.  
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.*

<sup>2</sup> *Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук.  
Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 47.  
E-mail: milaneagayeva@gmail.com*

Полилактид, полигликолид и их сополимеры относятся к числу наиболее часто используемых синтетических полимеров в тканевой инженерии [1]. Однако полиэфиры не обладают достаточной эластичностью для использования в медицине. Наиболее успешным способом решения этой проблемы является синтез сополимеров. Особый интерес представляют сополимеры лактида, в которых сомономером является замещенный триметиленкарбонат. Политриметиленкарбонат (ПТМК) представляет собой биоразлагаемый эластомер, который можно использовать для изготовления каркасов, нитей. Этот полимер обладает высокой растяжимостью, а также разлагается на неокислотные и нетоксичные остатки. Комбинация полиэфиры и ПТМК позволяет создавать материалы с механическими характеристиками и профилями деградации, подходящими для применения в медицине. Использование циклических карбонатов с различными заместителями позволяет варьировать термические, механические и гидрофильные свойства, а также придает (со)полимерам дополнительную функциональность [2].

Следует отметить, что если для синтеза гомополимера циклических сложных эфиров найдены эффективные инициаторы, то разработка инициатора для синтеза сополимеров является в каждом случае отдельной задачей.

Данная работа посвящена синтезу производных алюминия на основе диэтилентриаминов, исследованию их полимеризационной активности на примере  $\epsilon$ -капролактона, а также изучению каталитической активности в иницировании сополимеризации 2-(бензилоксикарбонил)-2-метилтриметиленкарбоната и L-LA.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект No 20-13-00391).

### Ссылки

[1] Ma, P.X. Scaffolds for Tissue Fabrication / P.X.Ma// Mater. Today. – 2004. Vol. 7, № 6. -P. 30–40.

[2] Gerhardt, W.W. Functional Lactide Monomers: Methodology and Polymerization/ W.W. Gerhardt, D.E.Noga, K.I. Hardcastle, A.J.García, D.M. Collard, M.Weck // Biomacromolecules. – 2006. Vol 7, № 6. -P.1735–1742.



УДК 616-035.1

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИСАХАРИДНЫХ ГЕЛЕЙ НА КИНЕТИКУ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ АНТРАЦЕНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ**

**Акованцева А.А.<sup>1</sup>, Копылов А.С.<sup>1</sup>, Шершнев И.В.<sup>1</sup>, Черкасова А.В.<sup>1</sup>, Савко М.А.<sup>1</sup>, Аксенова Н.А.<sup>1</sup>, Тимофеева В.А.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>2</sup>, Соловьева А.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФИЦ ХФ РАН, Москва, ул. Косыгина, 4*

<sup>2</sup> *ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России, Москва, ул. Трубецкая, 8  
E-mail: akovantseva-a@yandex.ru*

Устойчивость многих микроорганизмов к антибиотикотерапии на сегодняшний день является серьезной проблемой при лечении ран различного генеза [1]. Возможным решением этой проблемы является фотодинамическая терапия, основанная на генерации синглетного кислорода при возбуждении фотосенсибилизаторов (ФС), введенных в патогенных микроорганизмах [2]. В качестве ФС в основном используют порфирины и их аналоги. Однако, в последнее время в качестве ФС начинают применять более дешевые красители, обладающие собственной бактерицидностью, в том числе метиленовый синий и бенгальский розовый. В качестве носителей при локальном использовании ФС обычно выступают биополимеры. В данной работе в качестве матрицы-носителя использовали сшитые гели на основе альгината натрия и хитозана, а также полиэлектролитный комплекс на основе альгината и хитозана, предварительно сшитый тербием. Имобилизацию проводили на стадии получения гидрогелей. Показано, что кинетика высвобождения красителя в водную среду, имитирующую среду раны, определялась структурой матрицы. Для разных полимерных систем высвобождение варьировалось от нескольких минут до 2-3 суток. Выявлено изменение локальных биомеханических характеристик в данных системах. Было показано, что при иммобилизации МС на указанные системы меняются спектроскопические характеристики красителя. Методом ИК-спектроскопии выявлено, что для разных систем наблюдается разная степень связывания красителя с матрицей. Наиболее сильное взаимодействие, замедляющее выход красителя, выявлено в системах хитозан-МС. Работа выполнена при поддержке РФФ 24-43-00084.

**Ссылки**

- [1]. Hamblin, R.T. Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease? //Photochemical & Photobiological Sciences.2004. – Т. 3. – №. 5. – С. 436-450.  
[2]. Толстых П. И. и др. Лазерная фотодинамическая терапия гнойных ран с фотосенсибилизатором хлоринового ряда // Хирургия. Журнал им. НИ Пирогова. – 2010. – №. 12. – С. 17-22.

УДК 541.64

## ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ НА СВОЙСТВА ПОЛИ(L-ЛАКТИД- $\epsilon$ -КАПРОЛАКТОНА)

**Анохин Е.В.**, Бузин А.И., Седуш Н.Г., Чвалун С.Н.

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия  
E-mail: e.anohin@ispm.ru*

В последнее время среди разработчиков медицинских изделий растет интерес к полимерам на основе L-лактида (LA) и  $\epsilon$ -капролактона (CL) благодаря возможности создания на их основе биоразлагаемых материалов с контролируемыми свойствами и профилем деградации. Регулировать теплофизические и физико-механические механические свойства возможность путем изменения соотношения звеньев LA и CL в сополимере. Кроме того, известно, что сополимеры с одинаковым составом могут иметь разные свойства из-за различий в микроструктуре полимерной цепи [1]. Поэтому основной целью данной работы является исследование влияния условий синтеза на микроструктуру полимерной цепи и свойства поли(L-лактид- $\epsilon$ -капролактона). Полимеризацией с раскрытием цикла в расплаве были синтезированы сополимеры с мольным соотношением LA:CL = 70:30. Фактический мольный состав практически совпадал с расчётным, а молекулярная масса сополимеров составила от 40 до 115 кДа (ГПХ). На основе ЯМР-спектров были рассчитаны значения средней длины последовательностей звеньев LA и CL. Использование в качестве катализатора 2-этилгексаноата олова (500 ppm) при температуре реакции 160 °C позволяет получить сополимер со средней длиной последовательности LA ( $l_{LA}$ ) равной 9 звеньев и степенью статистичности R равной 0,5. Изменение режима внесения сомономера (CL) в процессе реакции приводило к более блочной микроструктуре (R = 0,30), при этом  $l_{LA}$  составила 14 звеньев. Для сополимера, полученного в присутствии ацетилацетоната циркония (IV) (1000 ppm) при температуре 180 °C, значение R было близко к 1, что характерно для случайного распределения мономерных звеньев в полимерной цепи, а  $l_{LA}$  составила 4 звена. Показано, что при уменьшении  $l_{LA}$  с 14 до 9 звеньев температура плавления полимера снизилась от 170 до 157 °C, а температура стеклования – от 36 до 27 °C. Сополимер с  $l_{LA}$  равной 4 звена характеризовался температурой стеклования 25 °C и не демонстрировал тепловых эффектов кристаллизации и плавления. Таким образом, изменение условий синтеза является эффективным инструментом для получения полимеров с заранее заданными свойствами.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (FFSM-2022-0003)

### Ссылки

[1] Sangroniz A. Lactide-caprolactone copolymers with tuneable barrier properties for packaging applications / A. Sangroniz, L. Sangroniz // J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem. - 2020.

УДК 577.323.23

**ФОРМИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТРУКТУР,  
СОДЕРЖАЩИХ ДНК И НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА****Артамонова Д.А.<sup>1</sup>, Касьяненко Н.А.<sup>1</sup>, Бакулев В.М.<sup>1</sup>, Некрасова Т.Н.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург, Петергоф, Ульяновская, д.1<sup>2</sup> ИВС РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д. 31

Актуальными разработками современной медицины является применение наночастиц благородных металлов при создании средств диагностики и лечения злокачественных новообразований. Особую роль структуры с участием наночастиц играют при проведении фототермической терапии, что объясняется их оптическими свойствами (в первую очередь наличием плазмонного резонанса). В этом случае в качестве фотосенсибилизаторов могут использоваться наночастицы (НЧ)  $\text{TiO}_2$  и их композиты в комбинации с синтетическими полимерами и биомолекулами (см. обзор [1]). Формирование компактных структур с включением таких НЧ является альтернативой генным векторам, которые проявляют ряд побочных эффектов при терапии различных заболеваний. Целью данной работы было формирование и изучение свойств систем, содержащих высокомолекулярную ДНК, компактизирующий ее полимер, наночастицы серебра, золота и  $\text{TiO}_2$ . Использовали полимеры МАГ-ДМАЭМ с включением наночастиц серебра и без них и ПДМАЭМ с включением наночастиц  $\text{TiO}_2$ .

Как известно, поликатионные полимеры компактизуют ДНК в растворах малой ионной силы. Сравнение результатов, полученных методом низкоградиентной вискозиметрии для растворов ДНК с полимерами МАГ-ДМАЭМ и МАГ-ДМАЭМ- $\text{Ag}^0$ , показало, что компактизация ДНК наблюдается при одном и том же значении зарядового отношения  $N/P=0,8$  (отношение числа заряженных групп полимера к количеству фосфатных групп ДНК). Исследование люминесценции красителя EtBr проводили в системах с МАГ-ДМАЭМ- $\text{Ag}^0$  и ПДМАЭМ- $\text{TiO}_2$ , а также в системах, где на полимере ПДМАЭМ- $\text{TiO}_2$  дополнительно были сформированы НЧ серебра. Было зафиксировано увеличение люминесценции красителя при использовании полимера с наночастицами серебра.

В системах, сформированных путем добавления полимера с НЧ серебра к ДНК с уже восстановленными на ней НЧ золота, также наблюдается компактизация. Размеры таких структур оценены методом ДРС и составляют 180-200 нм в диаметре. Полученные данные сравнивали с результатами предыдущих исследований [2].

**Ссылки**

[1] Ziental D. et al. Titanium dioxide nanoparticles: prospects and applications in medicine //Nanomaterials. – 2020. Vol. 10, №. 2. – P. 387.

[2] Kasyanenko N. et al. Packaging of DNA Integrated with Metal Nanoparticles in Solution //Entropy. – 2023. Vol. 25, №. 7. – P. 1052.

УДК 678.6 544.23.057 544.25.057

## НОВЫЕ АМФИФИЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ЩЁТКИ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ БОКОВЫМИ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВЫМИ ЦЕПЯМИ

**Блохин А.Н., Разина А.Б., Кирилэ Т.Ю., Родченко С.В., Теньковцев А.В.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, В.О. Большой пр., д. 31  
E-mail: blokhin\_an@hq.macro.ru*

В настоящей работе методом радикальной сополимеризации макромономеров по схеме “прививка через” синтезированы полимерные щётки с основной поли(стирол-альт-малеимид)ной цепью и чередующимися боковыми цепями поли(2-этил-2-оксазолин)а и поли(2-изопропил-2-оксазолин)а. Исследована возможность варьирования длины как основной гидрофобной цепи, так и боковых амфифильных цепей. Макромономеры поли(2-этил-2-оксазолин)а и поли(2-изопропил-2-оксазолин)а с радикально полимеризуемыми концевыми N-фенилмалеимидными и 4-винилбензильными функциональными группами соответственно были синтезированы методом катионной полимеризации с раскрытием цикла соответствующих 2-алкил-2-оксазолинов с использованием в качестве функциональных инициаторов N-(4-[хлорсульфонил]фенил)малеимида и 4-винилбензилхлорида.

Синтезированные полимерные щётки имеют эквивалентное содержание боковых цепей поли-2-этил-2-оксазолина и поли-2-изопропил-2-оксазолина, характеризуются, молекулярными массами в диапазоне 19–52 КДа, молекулярно-массовым распределением в диапазоне  $\bar{M}=1.6–1.9$  и числом боковых цепей в диапазоне  $f=10–20$  в зависимости от загрузки инициатора и длины боковых цепей.

Показана возможность использования синтезированных полимерных щёток для солубилизации гидрофобных органических соединений в водных растворах.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 23-23-00079.

УДК 547.96:612.396.11

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ ТКАНЕЙ КОЖИ

**Бобрынина Е.А.**, Апрятина К.В., Семенычева Л.Л., Смирнова Л.А., Зайцев С.Д.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, 603022  
E-mail: bobryninawear@gmail.com*

Материалы на основе природных полимеров являются перспективными в области тканевой инженерии. Выбор биоматериалов, соотношения компонентов и экспериментальных условий для создания композиций являются важными параметрами, обеспечивающими надлежащие условия для роста и пролиферации клеток в матрицах. В настоящее время совмещение коллагена, как структурного компонента внеклеточного матрикса, и полисахаридов активно исследуется в области создания биоразлагаемых и биосовместимых композиций.

Целью данной работы стало получение композиций на основе биополимеров – хитозана и коллагена: смесей и блок-сополимеров, исследование их физико-химических и биосовместимых свойств. Использовали хитозан с молекулярной массой (ММ) - 330 кДа, и коллаген с ММ 210 кДа, полученный из рыбьих шкур методом, описанным в патенте RU 2567171. Блок-сополимеры синтезировали методом УЗ диспергирования растворов смеси исходных гомополимеров. Показано, что физико-механические характеристики пленочных материалов увеличивались при введении в них коллагена, хотя сама коллагеновая пленка, отмытая от кислоты, обладает низкой прочностью. Прочность на разрыв пленок из блок-сополимера составила ~87 МПа, что существенно превышает свойства пленок на основе исходного хитозана и смеси биополимеров. Материалы на основе как блок-сополимеров, так и смесей являются биосовместимыми, что доказано на основании адгезии и роста клеток фибробластов hTERT-BJ5ta на поверхности образцов. Для хитозана плотность роста клеток составила  $9,7 \times 10^4$  кл./см<sup>2</sup>, для блок-сополимера сравнимые результаты –  $9,7 \times 10^4$  кл./см<sup>2</sup>, для пленок из смеси гомополимеров –  $3,5 \times 10^4$  кл./см<sup>2</sup>. Исследованы теплофизические и рентгеноструктурные свойства образцов.

Совокупность полученных результатов по прочностным показателям и биосовместимости показывает перспективу использования композиционных материалов на основе блок-сополимеров хитозан-коллаген для инженерии тканей кожи.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-00342.



УДК 547.458

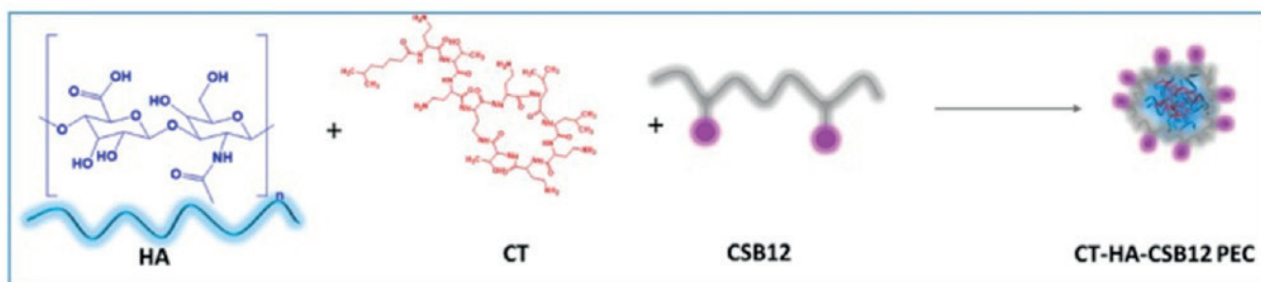
## СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ КОЛИСТИНА С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ

**Бокатый А.Н.,** Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
199004, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, В.О. Большой пр. 31  
E-mail: qwezakura@yandex.ru*

Разработка полимерных систем доставки антибиотиков является передовой стратегией борьбы с глобальным ростом микробной полирезистентности. Для решения данной проблемы был выбран пептидный антибиотик колистин (СТ) – препарат резерва для лечения тяжелых, в том числе нозокомиальных, инфекций. К недостаткам колистина относится высокая нефро- и нейротоксичность, а также низкая биодоступность при пероральном приеме. Для преодоления этих ограничений нами были разработаны модифицированные витамином В12 полиэлектролитные комплексы (РЕС) на основе хитозана (CS) и гиалуроновой кислоты (НА) для пероральной доставки колистина. Витамин В12 использовался в качестве таргетного лиганда, который всасывается в подвздошной кишке путем активного транспорта через специфические белки-переносчики.

РЕС были получены в два этапа [1]: на первом этапе получено сукцинильное производное витамина В12, которое затем конъюгировали с CS методом карбодимидной активации (CSB12); на втором этапе при варьировании порядка смешивания и соотношения компонентов НА, СТ и CSB12 были получены трехкомпонентные РЕС (рис. 1).



**Рисунок 1.** Схема образования РЕС СТ-НА-CSB12.

Полученные при оптимальных соотношениях компонентов РЕС имели гидродинамический диаметр около 280 нм и положительный  $\zeta$ -потенциал около +26 мВ; эффективность инкапсулирования 88 %, содержание СТ 42 мкг/мг. Разработанные системы обеспечивали двухфазное высвобождение лекарственного средства: около 50 % СТ высвобождалось в течение 1 ч, а около 60 % антибиотика кумулятивно высвобождалось через 5 ч. Антимикробная активность СТ-НА-CSB12 оставалась на том же уровне, что и у чистого СТ, по крайней мере, в течение 24 ч. Таким образом, включение СТ в РЕС на основе НА и модифицированного витамином В12 CS можно рассматривать как простой и удобный метод улучшения перорального введения СТ [1].

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 19-73-20157.

### Ссылки

[1] Dubashynskaya, N.V.; Bokaty, A.N.; Sall, T.S.; Egorova, T.S.; Demyanova, E.V.; Dubrovskii, Y.A.; Murashko, E.A.; Anufrikov, Y.A.; Shasherina, A.Y.; Vlasova, E.N., Skorik, Y.A. Hyaluronan/B12-chitosan polyelectrolyte complex for oral colistin administration. International Journal of Biological Macromolecules 2024, 263, 130177.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТАВКИ ДЕКСАМЕТАЗОНА НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ

**Бокатый А.Н., Дубашинская Н.В., Скорик Ю.А.**

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
199004, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, В.О. Большой пр. 31  
E-mail: qwezakura@yandex.ru*

По прогнозу Международного агентства по профилактике слепоты (IAPB), в ближайшие 30 лет число людей, страдающих от нарушений зрения, увеличится на 55% до 1,8 млрд человек. Основные причины, которые этому способствуют: старение населения, изменившийся образ жизни, ожирение, которое повышает риск развития большинства опасных заболеваний глаза. Поэтому важной задачей является разработка различных систем доставки противовоспалительных лекарственных средств. Такие лекарственные формы должны улучшать фармацевтические свойства препаратов (биодоступность, направленность действия, пролонгирование действия, снижение степени и частоты побочных эффектов). В данном исследовании представлен цикл работ, посвященный разработке офтальмологических систем доставки дексаметазона на основе функционализированных полисахаридов с целью улучшения его биодоступности и продолжительности действия, что в конечном итоге способствует улучшению лечебных результатов и удобству применения для пациентов с глазными заболеваниями [1].

Первым направлением было конъюгирование дексаметазона с сукцинил-хитозаном для разработки интравитреальной системы доставки. Полученные конъюгаты показали медленный гидролиз амидных и сложноэфирных связей в синтезированных системах, что приводит к высвобождению 8-10% дексаметазона за 1 месяц, и значительный противовоспалительный эффект в моделях TNF $\alpha$ -индуцированного и LPS-индуцированного воспаления, подавляя экспрессию CD54 в клетках THP-1 в 2 и 4 раза соответственно [2].

Вторым направлением было включение дексаметазона в самособирающиеся частицы на основе амфифильных производных хитозана, содержащих фрагмент холестерина, для разработки системы местной доставки. Полученные частицы обладают хорошей мукоадгезией, способны инкапсулировать 159-170 мкг/мг дексаметазона; высвобождают около 50% дексаметазона за 2 ч и 95% за 24 ч. Клеточная модель подтвердила, что загруженные дексаметазоном частицы не являются цитотоксичными и проявляют противовоспалительную активность сравнимую с чистым дексаметазоном [3].

Третьим направлением было включение дексаметазона фосфата в полиэлектролитные комплексы на основе разноименно заряженных полисахаридов (диэтиламиноэтил-хитозан и гиалуриновая кислота) для местной доставки. Разработанные системы доставки дексаметазона фосфата характеризовались как превосходной мукоадгезией, так и пролонгированным высвобождением лекарственного средства (около 70% дексаметазона фосфата высвобождалось в течение 10 часов). Эксперименты *in vitro* показали, что включение дексаметазона фосфата в полисахаридные наноносители не снижает его противовоспалительную активность [4].

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-23-00148.

### Ссылки

- [1] Dubashynskaya, N.V.; Bokaty, A.N.; Skorik, Y.A. Dexamethasone Conjugates: Synthetic Approaches and Medical Prospects. *Biomedicines* 2021, 9, 341.
- [2] Dubashynskaya, N.V.; Bokaty, A.N.; Golovkin, A.S.; Kudryavtsev, I.V.; Serebryakova, M.K.; Trulioff, A.S.; Dubrovskii, Y.A.; Skorik, Y.A. Synthesis and Characterization of Novel Succinyl Chitosan-Dexamethasone Conjugates for Potential Intravitreal Dexamethasone Delivery. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 10960
- [3] Dubashynskaya, N.V.; Golovkin, A.S.; Kudryavtsev, I.V.; Prikhodko, S.S.; Trulioff, A.S.; Bokaty, A.N.; Poshina, D.N.; Raik, S.V.; Skorik, Y.A. Mucoadhesive cholesterol-chitosan self-assembled particles for topical ocular delivery of dexamethasone. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 158, 811–818.
- [4] Dubashynskaya, N.V.; Bokaty, A.N.; Trulioff, A.S.; Rubinstein, A.A.; Kudryavtsev, I.V.; Skorik, Y.A. Development and Bioactivity of Zinc Sulfate Cross-Linked Polysaccharide Delivery System of Dexamethasone Phosphate. *Pharmaceutics* 2023, 15, 2396.

УДК 661.728; 539.25

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГЕЛЬ-ПЛЕНОК БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЙ ШТАММОМ *GLUCONACETOBACTER HANSENI* GH-1/2008

**Болгова А.Л.<sup>1</sup>, Архарова Н.А.<sup>2</sup>, Каримов Д.Н.<sup>2</sup>, Громовых Т.И.<sup>1,2</sup>, Клечковская В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
«Московский политехнический университет», 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, 38

<sup>2</sup> Курчатowskiй комплекс кристаллографии и фотоники  
НИЦ «Курчатowskiй институт», 119333, Москва, Ленинский пр., 59  
E-mail: ashi-chi@yandex.ru

В данной работе проведен сравнительный анализ микроструктуры и свойств гель-пленок бактериальной целлюлозы (БЦ), синтезируемых штаммом *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008 при статическом культивировании с изменяемыми параметрами: источник углерода (глюкоза, сахароза, фруктоза) и температура. Доказано влияние варьирования условий культивирования продуцента на морфологию поверхности и структурные особенности биополимера [1].

Температурный диапазон формирования БЦ составляет ~18-38 °С, при этом оптимум для штамма находится ~30 °С, при этом. Обнаружено, что гель-пленки БЦ при изменении параметров синтеза обладают различной структурой: наибольшим диаметром фибрилл (~63 нм) обладают гель-пленки, выращенные на субстрате с сахарозой, а наименьшим (~37 нм) – с глюкозой. При этом отмечена тенденция, что при увеличении температуры культивирования уменьшается средний диаметр волокон БЦ. За счет особенностей формирования нижняя поверхность БЦ имеет более рыхлую структуру, а верхняя более плотная [2].

Варьирование параметров культивирования влияет на биохимическую усвояемость штаммом субстрата, что влечет за собой изменение степени кристалличности, массового выхода матрицы БЦ и, как следствие, механических характеристик полимера [2].

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-29-00952 и в рамках государственного задания НИЦ «Курчатowskiй институт»

### Ссылки

[1] Gromovykh T.I. Structural organization of bacterial cellulose: The origin of anisotropy and layered structures / Gromovykh T.I., Pigaleva M.A., Gallyamov M.O. et al. // Carbohydr. Polym. 2020. V. 237. P. 116140

[2] Болгова А.Л. Микроструктура гель-пленок бактериальной целлюлозы, синтезируемой в статических условиях культивирования штамма *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008 на питательных средах с различными источниками углерода / Болгова А.Л., Шевцов А.А., Архарова Н.А. и др. // Кристаллография. – М. – 2023. – № 4(68). – С. 607-614.

УДК 678.674

## КОНТРОЛИРУЕМАЯ ДЕСТРУКЦИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИЭФИРОВ ГИДРОКСИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ ОЛИГОМЕРОВ

**Бояндин А.Н., Тюлькина Е.Н., Суханова А.А.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
660059, Красноярск, ул. Семафорная, 433/1  
E-mail: boyandin@biopolymer.pro*

Полиэфиры гидроксикарбонových кислот – важная группа полимеров для применения в медицине и для задач охраны окружающей среды (в т.ч. производства биоразлагаемой упаковки). В ряде случаев возникает необходимость внедрения в их структуру активных функциональных групп, например, для дальнейшего присоединения низкомолекулярных веществ или изменения физических свойств полимеров.

В работе проводили контролируемую деструкцию полиэфиров – поли-3-гидроксипропаната (ПГБ), поли-лактида (ПЛ), поли-ε-капролактона (ПКЛ), – в галогенсодержащих органических растворителях при высокой температуре (100-145°C), в растворах с бифункциональными аминами (этилендиамин, 1,4-диаминобутан, аминокэтанол), а также тионилхлоридом (в присутствии хлорида цинка). Анализировали изменение молекулярной массы и состав концевых групп.

Деструкция ПГБ в трихлорпропане приводила к формированию в месте разрыва полимерных цепей С-концевых остатков кротоновой кислоты. При использовании бромформа и тетрабромэтана получены олигомеры со средневесовой молекулярной массой ( $M_v$ ) до 1,6 кДа, содержащих концевые остатки, помимо кротоновой, 3-броммасляной кислоты (до 68% от общего количества концевых групп), что свидетельствует о захвате галогена из молекул растворителя в момент разрыва цепи. Для ПЛ и ПКЛ образования бромзамещенных концевых мономеров не происходило.

В присутствии диаминов отмечено количественное расщепление полимеров реагентами; уже при молярном соотношении реагента к количеству мономерных звеньев 1:5 через несколько часов реакции осаждения полимера из раствора не наблюдалось. При меньшем количестве реагентов удалось добиться стабилизации  $M_v$  при 1-3 тысяч Да в случае диаминов и 4-15 тысяч Да – этаноламина.

При обработке полиэфиров  $SOCl_2$  в присутствии  $ZnCl_2$ , в случае ПГБ и ПКЛ получены олигомеры с минимальной  $M_v$  8,5 и 6,8 кДа, соответственно. Показано формирование хлоралкильных и хлорангидридных групп на концах олигомерных цепей. В качестве низкомолекулярных продуктов деструкции зарегистрированы соответствующие хлорангидриды хлорзамещенных кислот. Для ПЛ в этих условиях снижения молекулярной массы не наблюдалось.

Таким образом, исследованные закономерности расщепления высокомолекулярных полиэфиров позволили получить олигомеры, отличающихся молекулярной массой и терминальными функциональными группами.

### Благодарность

Работа поддержана Минобрнауки России (государственное задание FEFE-2024-0027).

УДК 536.92

## ПЕРЕХОД КЛУБОК-ГЛОБУЛА, ИНДУЦИРОВАННЫЙ АКТИВНОСТЬЮ МОНОМЕРОВ: ВЛИЯНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ И ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ИНЕРЦИИ

**Буглаков А.И., Лелекова В.А., Чертович А.В.**

*ФГБУН ФИЦ ХФ им. Н.Н.Семенова РАН, Москва, Косыгина 4 к. 1  
E-mail: buglakov@polly.phys.msu.ru*

Активные полимеры представляют собой макромолекулы, чередующиеся звенья которых способны к направленному движению при поглощении внешней энергии. Активность мономеров приводит к спонтанному упорядочению в таких системах, а конформация цепи напрямую зависит от активной скорости. Важными примерами таких полимеров являются комплексы биологических филаментов с белковыми моторами - актиновые нити с миозином и микротрубочки с кинезином.

В данной работе методом молекулярной динамики в рамках модели активных броуновских частиц [1] исследованы конформационные переходы одиночной цепи активного полимера, в котором на каждый мономер действует независимая сила, имитирующая эффект молекулярного мотора. Рассмотрено влияние поступательных и вращательных инерционных сил на особенности самосборки таких полимеров в режиме хорошего растворителя.

Показано, что при увеличении активной силы для полимера наблюдается переход из клубковой конформации в глобулярную. Формирующаяся глобула представляет собой плотный кластер мономеров, окруженный вытянутыми полимерными петлями. При последующем увеличении активности мономеров глобула растворяется, а цепь принимает вытянутую структуру. Описаны отличия поджатия активной полимерной цепи в режимах в режимах сильного и слабого затухания.

Обсуждаются вопросы связи модели глобулы с петлями активной полимерной цепи с устройством хроматина в клетках.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-73-00089. Расчеты проводились на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

### **Ссылки**

1. Caprini L., Gupta R. K., Löwen H. Role of rotational inertia for collective phenomena in active matter //Physical Chemistry Chemical Physics. 2022., Vol. 24. , №. 40. P. 24910-24916.

УДК 541.64:547.39:542.952

## ВЛИЯНИЕ БУРА – ФОСФАТНО БУФЕРНОГО РАСТВОРА НА КИНЕТИКУ МАТРИЧНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТРИМЕТИЛМЕТАКРИЛОИЛОКСИЭТИЛАММОНИЙ МЕТИЛСУЛЬФАТА – ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ

**Быков Д.С.<sup>1</sup>, Духанина Е.Г.<sup>1</sup>, Вовк М.А.<sup>2</sup>, Шулевич Ю.В.<sup>1</sup>, Навроцкий А.В.<sup>1</sup>, Новаков И.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ),  
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет.  
Ресурсный центр «Магнитно-резонансные методы исследования»,  
198504 Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский пр., 26  
E-mail: [BykovDenis96@yandex.ru](mailto:BykovDenis96@yandex.ru)

Распространенным способом синтеза полиэлектролитов (ПЭ) является свободно-радикальная (со)полимеризация. Главным недостатком свободнорадикальной полимеризации является неконтролируемость процесса, который приводит к увеличению полидисперсности (Кд) полимера. Ранее было показано, что матричная полимеризация (МП) ионных мономеров на мицеллах ПАВ в воде позволяет получать ПЭ с заметно меньшей Кд, чем ПЭ, полученные свободнорадикальной полимеризацией в воде при сохранении высокой молекулярной массы. Как известно молекулярно-массовые характеристики формируются на стадии синтеза. Поэтому изучения кинетических данных дает инструмент для регулирования свойств получаемых полимеров. Целью данной работы является изучение влияния бура-фосфатного буферного раствора (БР) на кинетику МП в мицеллярных растворах ПАВ. На данном этапе работ осуществлена радикальная МП триметилметакрилоилоксиэтиламмоний метилсульфата в мицеллярных растворах в БР. Синтез ПЭ проводился в широком интервале концентраций ПАВ при эквимольном соотношении мономер/ПАВ, температура полимеризации 60°C, использовали инициатор (V-50), концентрация 0,5 ммоль/л. Кинетические исследования проводились с использованием ЯМР  $^1\text{H}$  (Bruker Avance III 500). Полученные данные для гомополимеризации мономера в БР согласуются с теорией. Однако для МП при эквимольном соотношении компонентов порядок по мономеру составляет 1,27, а по инициатору равен 0,8. Как правило, увеличение порядка по мономеру связывают с его агрегацией, что хорошо согласуется с результатами наших предыдущих исследований. Увеличение порядка по инициатору может быть связано как с высокой начальной вязкостью среды, так и с гетерогенным характером полимеризации. Кинематическая вязкость системы мономер-ПАВ в БР при концентрации мономера 0,3 моль/л и эквимольном соотношении мономер-ПАВ в 7 раз выше, чем вязкость мономера при той же концентрации без добавления ПАВ. Полученные ПЭ по МП в БР характеризуются молекулярной массой  $(2-6) \cdot 10^6$ , что в 2-3 раза выше чем для ПЭ полученных гомополимеризацией.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта №17/642-24.



УДК 547.96:544.526.5

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ 3D-СТРУКТУР ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ НА ОСНОВЕ КОЛЛАГЕНА И АКРИЛАТОВ В УСЛОВИЯХ ГЕТЕРОГЕННОГО ФОТОКАТАЛИЗА В ПРИСУТСТВИИ $RbTe_{1,5}W_{0,5}O_6$

**Валетова Н.Б., Семенычева Л.Л., Курский Ю.А., Часова В.О., Продаевич В.В.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Россия, г. Нижний Новгород, 603022, пр. Гагарина, 23  
E-mail: nata-bor-2005@mail.ru*

В последнее время в рамках принципов «зеленой химии» получили распространение оксиды ряда металлов, способные генерировать активные частицы, в том числе гидроксильные радикалы, при облучении видимым светом. Оригинальные материалы на основе привитых сополимеров акриловых мономеров на рыбный коллаген [1], синтезированы с использованием фотокатализа в присутствии сложного оксидного катализатора  $RbTe_{1,5}W_{0,5}O_6$ , которые могут найти самое широкое распространение благодаря своей основе - природным полимерам, и трехмерной фибриллярной структуре, необходимой в регенеративных материалах, включая скаффолд-технологии.

В данной работе проведен анализ структуры синтетических полимерных продуктов, образующихся при получении материалов на основе коллагена и акрилатов. При анализе полимерных продуктов методами ЯМР, МАЛДИ как в случае метилметакрилата (ММА), так и бутилакрилата (БА) на поверхности катализатора преимущественно образуется полимер, образующийся в результате полимеризации циклических мономеров - продуктов окисления акрилатов на оксидном катализаторе (рис. 1).



**Рисунок 1.** Структура циклов, продуктов окисления: а – ММА, б – БА

Аналогичные продукты окисления ММА выделены при использовании в качестве инициатора реактива Фентона в инертной атмосфере.

### Благодарность

Данное исследование было профинансировано Министерством образования и науки РФ (задание FSWR-2023-0024) с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Новые Материалы и ресурсосберегающие технологии» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

### Ссылки

[1] Semenycheva, L.L. New Composite Materials with Cross-Linked Structures Based on Grafted Copolymers of Acrylates on Cod Collagen / L.L. Semenycheva, V.O. Chasova, A.A. Sukhareva et al. // App. Sci. - 2023. - V. 13, No 9. - P. 5455.

## НЕКОТОРЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРАХМАЛОВ, ЭКСТРАГИРОВАННЫХ ИЗ ПОЧТИ-ИЗОГЕННЫХ И ЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦ

**Вассерман Л.А.<sup>1</sup>, Кривандин А.В.<sup>1</sup>, Шаталова О.В.<sup>1</sup>, Лукин А.С.<sup>1,6</sup>, Филатова А.Г.<sup>2</sup>, Сергеев А.И.<sup>2</sup>, Васильев В.Г.<sup>3</sup>, Шоева О. Ю.<sup>4</sup>, Гольдштейн В.Г.<sup>5</sup>, Плащина И.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИБХФ РАН, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> ФИЦ ХФ РАН, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>3</sup> ИНЭОС РАН, Москва, ул. Вавилова, 28

<sup>4</sup> ФИЦ ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 10

<sup>5</sup> ВНИИК – филиал ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха, МО, ГО Люберцы, ул. Некрасова, 11

<sup>6</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 1-ая Миусская ул., 3

E-mail: lwasserma@mail.ru

В настоящее время весьма актуальным является создание новых сортов культурных растений с повышенным содержанием ценных для здоровья человека соединений, в частности, антиоксидантов. Наибольшим антиоксидантным потенциалом обладают флавоноидные пигменты – антоцианы. Продукты зерновых злаков, содержащие антоцианы могут использоваться в качестве компонентов функционального питания, способствовать предупреждению и снижению риска развития хронических заболеваний. Создание новых сортов пшеницы с повышенным содержанием антоцианов осуществляется методом интрогрессивной гибридизации и может сопровождаться значительным изменением свойств выделяемых из пшеницы крахмалов – биополимеров, находящихся широкое применение в промышленности в качестве загустителей, стабилизаторов и гелеобразователей.

Цель данной работы состояла в сравнительном исследовании структуры, морфологии, термодинамических и реологических свойств крахмалов, экстрагированных из интактного и модифицированных образцов пшениц, полученных в результате различных типов интрогрессии.

Показано, что модификация пшениц способствуют образованию гранул крахмала большего размера и более правильной округлой формы в сравнении с крахмалом из материнской линии пшеницы. При этом тип полиморфной структура крахмала (А-тип) не изменяется. Термодинамические параметры плавления кристаллических ламелл амилапектина в крахмалах из пшениц, подвергнутых интрогрессии, повышаются по сравнению с крахмалом из интактной пшеницы, что отражает образование большего количества структурно-упорядоченных элементов. Интрогрессии вызывают увеличение комплексного динамического модуля упругости крахмальных гелей по сравнению с гелем из интактной пшеницы. Водные гели из крахмалов пшениц, подвергнутых интрогрессии различных типов, характеризуются отличающимися скоростями химического обмена протонов воды при взаимодействии с протонами гидроксидов гелей крахмалов. Обсуждаются возможные пути влияния различных типов интрогрессии на термодинамические и другие физико-химические характеристики крахмалов пшеницы.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (тема №122041300204-1.).

## ВЛИЯНИЕ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН КОРМОВЫХ БОБОВ *Vicia faba* НА ПАРАМЕТРЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И КОНФОРМАЦИОННУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ НИХ ЛЕГУМИНА

**Вассерман Л.А.<sup>1</sup>, Лукин А.С.<sup>1,2</sup>, Дубовик А.С.<sup>1</sup>, Плащина И.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИБХФ РАН, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup>РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 1-ая Миусская ул., 3

E-mail:lwasserma@mail.ru

Основу мировых запасов продовольствия составляют семена зерновых, зернобобовых и масличных культур, однако, большая их часть используется лишь косвенно, путем скармливания животным. Использование растительного белка для пищевых целей сопряжено с рядом проблем: легумины, являющиеся основной фракцией запасных белков зернобобовых и масличных культур, имеют благоприятный аминокислотный состав, но недостаточно высокие био- и технофункциональные свойства, обусловленные компактной структурой молекул, их высокой конформационной стабильностью и низкой поверхностной гидрофобностью. Легумины не полностью перевариваются ферментами желудочно-кишечного тракта, обладают аллергенным действием. Эффективным способом модификации структуры легуминов является ограниченный протеолиз под действием эндогенных протеаз при прорастании семян. Этот подход, основанный на использовании катаболического потенциала сырья, позволяет решить целый комплекс задач: повысить технофункциональные свойства легуминов (пенообразующую, эмульгирующую и стабилизирующую способность), понизить иммунореактивность и увеличить атакуемость легуминов ферментами желудочно-кишечного тракта.

Цель настоящей работы заключалась в сравнительной характеристике молекулярных параметров и конформационной стабильности легуминов кормовых бобов *Vicia faba*, выделенных из интактных семян и семян после их проращивания в строго контролируемых условиях. Установлено, что изменение структуры легумина по сравнению с интактным проявляется в понижении молекулярной массы, гидродинамического размера, а также – понижении термодинамического сродства к растворителю за счет уменьшения поверхностного заряда и увеличения поверхностной гидрофобности молекулы. Конформационная стабильность модифицированного прорастанием легумина также понижается в сравнении с интактным легумином. Наблюдаемые изменения структуры и стабильности легумина в результате прорастания семян позволяют прогнозировать повышение биологической ценности и функциональных свойств растительных глобулинов с целью расширения сферы их использования для пищевого и биомедицинского применения.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (тема №122041300204-1.).

УДК 577

## МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ КРИВЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ

**Габрусёнок П.В., Соколов П.А.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 13Б  
Университетская набережная, 199034  
E-mail: p.v.gabrusenok@gmail.com*

Информативным и практичным методом для изучения термодинамики нуклеиновых кислот является анализ их кривых плавления. Простота организации эксперимента по плавлению олигонуклеотидов с использованием пары флуоресцентный краситель-тушитель в ПЦР-термоциклах в реальном времени [1] делает такую методику крайне популярной. Анализ таких кривых плавления подразумевает их корректную интерпретацию, особенно если требуется получить абсолютные значения температур плавления и/или  $\Delta H$  и  $\Delta S$  переходов между состояниями меченой молекулы. Основные сложности состоят в поиске базовых линий, вид которых зависит как от свойств самих систем [2], так и от используемого оборудования и изменяется от ячейки к ячейке. Как правило, поиск базовых линий и термодинамический анализ кривых плавления разделяют на два последовательных этапа [3].

В данной работе предлагается простой в реализации подход для интерпретации кривых плавления. Термодинамика системы и механизм формирования её сигнала совмещаются, что делает необязательным изучение флуоресценции отдельных компонентов смеси. Он позволяет находить базовые линии и зависимости долей расплавленных компонентов от температуры в автоматическом режиме независимо в каждой ячейке ПЦР-термоцикла. Мы апробировали новый метод на системе дуплексов ДНК и сравнили результаты с общепринятыми практиками. Предлагаемый метод показал высокую воспроизводимость и независимость результатов (температур плавления проб) от юстировки прибора, т.е. выравнивания лазера, положения кюветы с образцом, паразитных отражений в ней, следов испарения образца на стенках и переменной чувствительности детектора от ячейки к ячейке. Предлагаемая методика также может быть успешно применена и для анализа УФ-плавления.

### **Благодарность**

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-25-00302.

### **Ссылки**

You Y., Tataurov A.V., Owczarzy R. Measuring thermodynamic details of DNA hybridization using fluorescence // Biopolymers. 2011. Vol. 95, № 7. P. 472–486.

Owczarzy R. Melting temperatures of nucleic acids: discrepancies in analysis // Biophys Chem. 2005. Vol. 117, № 3. P. 207–215.

Palais R., Wittwer C.T. Mathematical algorithms for high-resolution DNA melting analysis // Methods Enzymol. 2009. Vol. 454. P. 323–343.

УДК 577

**ВЛИЯНИЕ pH И АТФ НА СТРУКТУРУ И СТАБИЛЬНОСТЬ  
АТФ-АПТАМЕРА****Габрусёнок П.В., Соколов П.А.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 13Б  
Университетская набережная, 199034  
E-mail: p.v.gabrusenok@gmail.com*

Активное исследование аптамеров позволило применить их в качестве терапевтических и диагностических медицинских систем, а также в роли молекулярных сенсоров и датчиков окружающей среды [1]. Множество исследований фокусируются на разработке молекулярных переключателей на базе аптамеров. Применение молекулярных переключателей с конкурирующей нитью к аптамеру [2] в биологических системах требует изучения термодинамики модифицированных аптамеров в различных pH, так он варьируется в разных тканях, а также изменяется при определенных заболеваниях [3]. В данной работе мы изучили связывание классического АТФ-аптамера с АТФ и его гибридизацию с замещающими нитями при различных pH и ионных условиях методом флуоресцентного плавления. Для интерпретации кривых плавления мы использовали разработанный и апробированный нами ранее подход, который позволил значительно снизить количество вспомогательных измерений без потери качества результата.

Мы показали, что стабильность АТФ-аптамера в присутствии ионов  $Mg^{2+}$  растет с повышением концентрации АТФ при нейтральных pH. Без ионов  $Mg^{2+}$  стабильность АТФ-аптамера не изменялась в нейтральных pH при добавлении АТФ. Ионы  $Mg^{2+}$  играют важную роль в формировании комплекса исследованного аптамера со своей мишенью. В растворах низких pH без ионов  $Mg^{2+}$  АТФ стабилизирует структуру аптаме-ра, что повышает его  $T_m$ . Сравнивая pH зависимости стабильности АТФ-аптамера и его дуплексов с комплементарными нитями разной длины мы пришли к выводу, что молекулярные переключатели вида «аптамер+конкурирующая нить» могут иметь собственную pH-зависимость, которая ранее никогда не принималась во внимание.

**Благодарность**

Работа поддержана грантом РФФ № 22-25-00302.

**Ссылки**

- Dunn M.R., Jimenez R.M., Chaput J.C. Analysis of aptamer discovery and technology // Nat Rev Chem. Nature Publishing Group, 2017. Vol. 1, № 10. P. 1–16.  
Feagin T.A., Maganzini N., Soh H.T. Strategies for Creating Structure-Switching Aptamers // ACS Sens. American Chemical Society, 2018. Vol. 3, № 9. P. 1611–1615.  
Abdella S. et al. pH and its applications in targeted drug delivery // Drug Discov Today. 2023. Vol. 28, № 1. P. 103414.

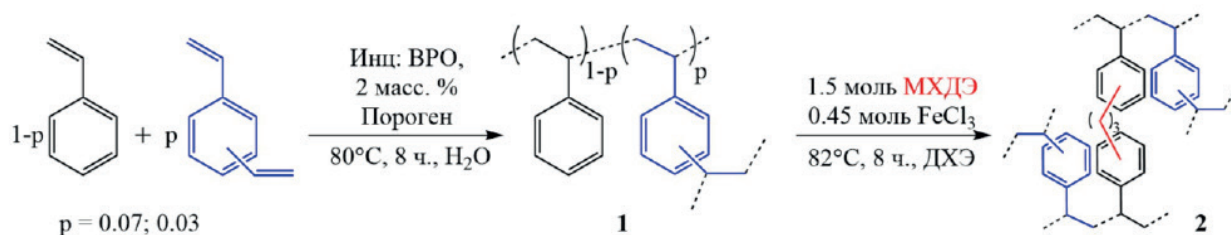
## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ СВЕРХСШИТЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ГЕМОСОРБЕНТОВ

**Гажеев С.Т., Попов А.Ю.**

*Институт элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова  
Российской академии наук, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, 28.  
E-mail: gazheev00@mail.ru*

Сверхсшитый полистирол широко используется в клинической медицине в качестве гемосорбента [1], благодаря его отличной гемосовместимости и способности сорбировать токсины различной молекулярной массы и полярности. Тем не менее, свойства сверхсшитых гемосорбентов остаются недостаточно изученными.

Цель настоящего исследования — разработать сверхсшитые гемосорбенты с разной пористостью и исследовать влияние структуры сетки на пористость и сорбционные характеристики. Исходные сополимеры стирола с 3 и 7 % дивинилбензола (**1**, Рис. 1) были синтезированы в присутствии различных порогенов. Применение октана или изобутанола привело к созданию макропористых материалов, тогда как толуол способствовал формированию расширенных гелевых сеток. Смесь осадителя и растворителя (пороген) породила сополимеры со "скрытой" пористостью, поры которых коллапсируют при сушке материала.



**Рисунок 1.** Схема двухстадийного синтеза гемосорбента

Последующее сшивание сополимеров в набухом состоянии монохлордиметилэфиром в присутствии  $\text{FeCl}_3$  приводит к сорбентам (**2**, Рис. 1), в которых помимо микропор, характерных для сверхсшитой сетки, сохраняются все виды пор исходного сополимера, включая "скрытые". Сополимер с 3 мол. % дивинилбензола, полученный в присутствии смеси порогенов (1 об. мономеров :  $\frac{2}{3}$  об. октана :  $\frac{1}{3}$  об. толуола), показал высокую удельную поверхность ( $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и наличие микро-, мезо- и макропор с общим объёмом  $0.95 \text{ см}^3/\text{г}$ , что делает его перспективной основой для гемосорбента. Синтезированные материалы с различным распределением пор продемонстрировали, что для эффективной сорбции белков требуются поры значительно большего диаметра, чем сами сорбаты (согласно азотной порометрии).

**Ссылки**

[1]. Hemoperfusion using the LPS-selective mesoporous polymeric adsorbent in septic shock: a multicenter randomized clinical trial. / S. Rey, V. Kulabukhov, A. Popov, [et. al.] // Shock. – 2023. Vol. 6, № 59. – P 846-854.



УДК 546.05, 543.4, 548.3

## РЕЗОБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИОМИМЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ ГИДРОКСИАПАТИТ-ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА

**Герк С.А., Кривощекова А.И., Разливенская С.Н.**

*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, пр. Мира, 55а  
E-mail: gerksa\_11@mail.ru*

Одной из стадий биодеградации имплантата в организме является его постепенное растворение с участием клеток. Первоначально протекает активная фаза резорбции биоматериала в слабокислой среде, далее в процессе его замещения на нативные кристаллы костной ткани происходит медленное растворение при физиологическом значении кислотности межклеточных жидкостей [1].

Цель работы: синтез композитов на основе карбонатсодержащего гидроксиапатита и гиалуроновой кислоты и изучение их резорбционных свойств.

Образцы получены из среды приближенной по неорганическому составу к синовиальной жидкости человека в присутствии высокомолекулярного гиалуроната натрия (ч.д.а.,  $2,0 \cdot 10^6$  Да, Германия) 0,05 – 0,80 масс. %. Для изучения биорезорбируемости композитов проведено их растворение в 0,9 %-ном растворе хлорида натрия и в ацетатном буфере (рН = 5,5). Кинетические кривые обработаны с помощью регрессионного анализа. На начальном участке кривых зависимость концентрации ионов кальция в растворе от времени можно аппроксимировать линейной функцией, с течением времени скорость замедляется и кинетика описывается экспоненциальной зависимостью.

Установлено, что начальная скорость растворения всех композитов в 0,9 %-ном растворе NaCl и ацетатном буферном растворе меньше по сравнению с чистой фазой гидроксиапатита. Причем менее растворимы композиты на стадии пассивной резорбции. Выявлено, что количество полисахарида в составе композитов не влияет на начальную стадию их растворения в слабокислых условиях. Все порошки гидроксиапатит-гиалуроновая кислота резорбируются примерно с одинаковой скоростью. В изотоническом растворе хлорида натрия медленнее всего резорбируются композиты, синтезированные при средних концентрациях гиалуроновой кислоты в маточном растворе (0,2 – 0,4 мас. %). Такие образцы содержат наиболее окристаллизованный гидроксиапатит. Аморфизированные композиты, синтезированные из высоко вязких сред (> 0,4 мас. %) резорбируются со средней скоростью. Самую низкую скорость растворения имеют порошки, полученные из растворов, содержащих < 0,2 мас. % полисахарида. Таким образом, полученные композиты гидроксиапатит-гиалуроновая кислота, перспективны в качестве применения материалов с пролонгированной скоростью

### **Благодарность**

Работа выполнена за счет гранта Российского Научного Фонда № 23-23-00668.

[1] Trubitsyn M.A., Hung H.V., Furda L.V., Hong N.T.T. Effect of molar ratios in the crystallochemical structure of biomimetic nanostructured hydroxyapatite on the characteristics of the product // Russ. J. Inorg. Chem. - 2021. Vol. 66, № 5. - P. 654-661.

УДК 541(64+183):539.199

## АДСОРБЦИЯ И ДИФфуЗИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ПРОТИВОПОЛОЖНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Глаголева А.А.<sup>1</sup>, Ярославов А.А.<sup>2</sup>, Василевская В.В.<sup>1,2</sup>**

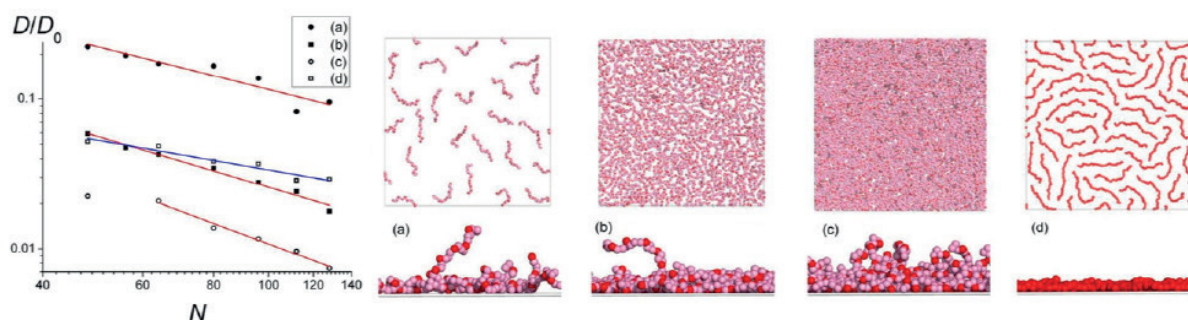
<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 28*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет,  
Москва, Ленинские горы, 1-3*

*E-mail: starostina@polly.phys.msu.ru*

Адсорбция молекул полиэлектrolита на противоположно заряженную поверхность из водного раствора играет определяющую роль в различных биологических процессах и является важным фактором во многих практических приложениях (разработка функциональных покрытий, обработка почвы, доставка лекарств, и т. д.). В таких системах важно учитывать степень покрытия поверхности полимером, структуру адсорбционного слоя и диффузионные процессы внутри него.

В работе методом молекулярно-динамического компьютерного моделирования впервые установлена взаимосвязь между степенью ионизации полиэлектrolитов, адсорбированных на противоположно заряженной поверхности, степенью заполнения поверхности (и количеством заряженных групп в адсорбированных слоях) и подвижностью цепей [1]. Определены условия (плотность заряда, подвижность адсорбированных полиэлектrolитных макромолекул), при которых такого рода системы могут быть наиболее эффективны для обеззараживания поверхностей, «заживления» повреждений, реакции покрытий на внешние стимулы.



**Рисунок 1.** Зависимость латерального коэффициента диффузии от степени полимеризации цепей при различных степени заполнения плоскости и степени ионизации макромолекул.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках госзадания (075-03-2023-642), с использованием вычислительных ресурсов Суперкомпьютерного центра МГУ им. М.В. Ломоносова.

### Ссылки

[1] Glagoleva A.A., Yaroslavov A.A., Vasilevskaya V.V. Computer simulation insight into the adsorption and diffusion of polyelectrolytes on oppositely charged surface // *Polymers* – 2023. Vol. 15, № 13. – P. 2845.

УДК 544.476:661.183.123.2

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭНТЕРОСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОТОПЕКТИНА

**Горшкова Р. М., Слободова Д. А., Гладышев П. П.**

*ООО «МЕЗОН», Дубна, ул. Программистов, д. 4с3, офис 206*

*E-mail: gorshkova.raisa@gmail.com*

В медико-биологическом аспекте особый интерес представляет создание безопасных высокоэффективных энтеросорбентов, обладающих селективностью по отношению к широкому спектру вредных для организма веществ. Перспективной основой для энтеросорбентов являются природные полимеры, в том числе пектиновые полисахариды. Установлено, что эффективность сорбции пектиновых полисахаридов в большей степени определяется их чистотой и содержанием свободной галактуроновой кислоты, а селективность – структурой и моносахаридным составом, распределенным по основной и боковым цепям. Чистота пектиновых полисахаридов зависит от метода их получения, тогда как лимитирующим фактором содержания моносахаридов является вид исходного сырья. В связи с чем, особую актуальность приобретает разработка методов, направленных на одновременное извлечение пектиновых полисахаридов с высокой степенью чистоты из нескольких источников. Был разработан инновационный метод получения жидких энтеросорбентов на основе комбинированного протопектина цитрусовых и яблок, цитрусовых и тыквы, цитрусовых и бананов, состоящего из растворимых и нерастворимых пищевых волокон, входящих в оболочку клеточной стенки. Растворимые пищевые волокна представлены пектиновыми веществами и пектиновыми олигосахаридами (остатками галактуроновой кислоты, арабинозой, рамнозой, маннозой, галактозой, ксилозой), нерастворимые – клетчаткой. Исследованиями *in vitro* установлено, что энтеросорбенты на основе комбинированного протопектина обладают большей сорбционной емкостью, в сравнении с пектиновыми веществами одного сырьевого источника и модельными препаратами, по отношению к ионам тяжелым металлам и токсинам.

Эффективность и безопасность разработанных энтеросорбентов доказана клиническими испытаниями. Установлено, что в течение первого месяца приема отмечается значительное снижение содержания мочевой кислоты, мочевины, С-реактивного белка и гаптоглобина. Выявлено снижение уровня глюкозы в крови, показателей липидного обмена: холестерина, триглицеридов, липопротеинов низкой и высокой плотности. Нормальные показатели крови после употребления энтеросорбента свидетельствовали об отсутствии токсического и сенсibiliзирующего эффектов.

Таким образом, разработанный энтеросорбент представляет собой безопасное лечебно-профилактическое средство при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, гепато-билиарной системы, диабете, воспалительных процессах, а также при повышенном содержании мочевой кислоты в сыворотке крови.

УДК 539.2 539.199 541.6

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОФОБНОСТИ АМФИФИЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-МЕТИЛ-N-ВИНИЛАЦЕТАМИДА

Гостева А.А., Окатова О.В., Павлов Г.М.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
НИЦ «Курчатовский институт»,  
г. Санкт-Петербург, 199004, Большой пр. В.О. 31.  
E-mail: anna.gosteva.imc@gmail.com*

В работе рассматриваются амфифильные сополимеры с длинными гидрофобными алкильными группами, которые в водной среде способны образовывать унимолекулярные мицеллы (гидрофобные фрагменты внутри одной макромолекулы).

Сополимеры N-метил-N-винилацетамида и N-метил-N-додецил-N-виниламина йодида (МВАА-*co*-МВАС<sub>12</sub>H<sub>25</sub>·HI) получены частичным гидролизом исходного гомополимера N-метил-N-винилацетамида, с последующим алкилированием додецилйодидом C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>I. Степень гидролиза и алкилирования составляет 15 мол.%. Сополимеры являются статистическими, т.е. гидрофобные боковые группы распределены неравномерно по цепи.

Рассматривается экспериментальный параметр, который позволяет различать сополимеры по уровню их гидрофобности. Было показано, что для истинно гомологических рядов поли-N-метил-N-винилацетамида, сополимера N-метил-N-винилацетамида и N-метил-N-виниламина гидрохлорида и поли-4-стиролсульфоната натрия параметр Крэмера отрицательный и имеет близкие значения. В то время как для ряда МВАА-*co*-МВАС<sub>12</sub>H<sub>25</sub>·HI параметр Крэмера положительный и различен для каждого образца сополимера. Это связано с тем, что гидрофобные боковые группы неравномерно распределены вдоль цепи и данный ряд сополимеров нельзя рассматривать как гомологический.

### **Благодарность**

Исследованные сополимеры были синтезированы в лаборатории гидрофильных полимеров ИВС РАН. Авторы выражают искреннюю благодарность заведующему лабораторией, член-корр. РАН, д.х.н., проф. Панарину Евгению Федоровичу за много важных, полезных замечаний и дискуссий, и научному сотруднику Гавриловой Ирине Иосифовне за синтез полимеров.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт», проект 124013000730-3.

## КОМПЛЕКС КВАНТОВАЯ ТОЧКА – АПТАМЕР ДЛЯ СВЯЗЫВАНИЯ EGF РЕЦЕПТОРА

**Григорьева М.В.**<sup>1,2</sup>, Карпов О.Н.<sup>1</sup>, Отмахова О.А.<sup>1</sup>, Тальрозе Р.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
119991 Москва, Ленинский проспект 29*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
ФББ, 119234 г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы МГУ 1, стр. 73  
E-mail: marygrig27@gmail.com*

Полупроводниковые квантовые точки (КТ), обладающие контролируемыми размерами, отвечающими, в частности, за фотолюминесценцию со сравнительно высоким квантовым выходом, рассматриваются в качестве основы для развития биосенсоров, тестсистем, клинической диагностики, иммунобиологических исследований и т.д. Для получения комплексов на основе КТ, необходимо не только добиться их растворимости в водных средах, но также на поверхности частиц должны присутствовать реакционноспособные функциональные группы, позволяющие использовать различные биологические лиганды для целенаправленного получения и применения таких материалов. В качестве лигандов могут выступать аптамеры, которые имеют сложную трехмерную структуру, обеспечивающую способность специфически связывать молекулы, как малых, так и больших размеров, такие как белки. Аптамеры обладают большим количеством преимуществ, такими как небольшой размер, высокую химическую стабильность, простой синтез и модификацию структуры.

Работа направлена на создания комплексов КТ-Аптамер, обладающих с одной стороны фотолюминесцентными свойствами КТ, а с другой специфичностью взаимодействия с рецептором эпидермального фактора роста (EGFR). Наличие EGFR в большом количестве в одном участке организма свидетельствует о наличии раковой опухоли или высоком шансе ее появления. В качестве лигандов, обеспечивающих взаимодействие КТ с рецептором использован аптамер Goll, обладающий возможностью специфического взаимодействия с белком EGFR. На первом этапе проведен синтез КТ CdSe/ZnS, стабилизированных олеиновой кислотой. Для перевода наночастиц в водорастворимое состояние был синтезирован водорастворимый сополимер, имеющий тиольную группу для взаимодействий с поверхностью КТ, а также свободные карбоксильные группы. На основе полученных КТ, с полимером на поверхности частиц получены комплексы с аптамером Goll, имеющим NH<sub>2</sub> группу, способную взаимодействовать с –COOH группой полимера на частице. Полученный комплекс, а также его взаимодействие с белком EGFR, были проанализированы методами динамического рассеяния света и иммуноферментного анализа

### Благодарность

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

УДК 539.199:544.35.03:544.777

## КОНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНЫХ СТАНДАРТОВ ПУЛЛУЛАНА В РАСТВОРАХ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА

**Губарев А.С.<sup>1</sup>, Окатова О.В.<sup>2</sup>, Лезов А.А.<sup>1</sup>, Михайлова М.Е.<sup>1</sup>, Павлов Г.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Кафедра молекулярной биофизики и физики полимеров, СПбГУ, 199034, РФ, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup> Институт высокомолекулярных соединений, РАН, 199004, РФ, Санкт-Петербург, Большой пр., 31

E-mail: a.gubarev@spbu.ru

Пуллулан (полимальтотриоза) является ярким представителем полисахаридов, относящихся к важному классу биологических макромолекул, выполняющих ключевые функции в живых организмах [1]. Пуллулан довольно давно привлекает внимание исследователей, поэтому для него имеется довольно широкий банк данных, полученный в водных средах [2]. В данной работе представлены результаты методов молекулярной гидродинамики, сопоставление данных различных гидродинамических методов и конформационный анализ пуллулана в диметилформамиде (ДМФА). Анализ проводился на образцах стандартах из набора для эксклюзионной хроматографии ('Polysaccharide standard kit'), приготовленного компанией 'Polymer Laboratories' в диапазоне молекулярных масс:  $0.18 < M_w \cdot 10^{-3}$ , г/моль  $< 788$  и усредненным значением индекса полидисперсности  $\sim 1.12$  (по данным производителя). Взаимная корреляция гидродинамических данных установлена в рамках концепции гидродинамического инварианта, установлены скейлинговые соотношения для пуллулана в ДМФА, определены конформационные параметры с использованием классической модели Грея-Блюмфильда-Хирста и по данным счетного эксперимента в программе Multi-Hydfit [3].

### Благодарность

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (№ 22-13-00187, <https://rscf.ru/project/22-13-00187/>).

### Ссылки

[1] Aspinall G. O. Polysaccharides – Oxford: Elsevier Science, 2016 – P. 244.

[2] Pavlov G. M., Korneeva, E. V., Yevlampieva, N. P. Hydrodynamic characteristics and equilibrium rigidity of pullulan molecules // Int. J. Biol. Macromol. – 1994. – V. 16. – № 6. – P. 318-323.

[3] Ortega A., de la Torre J. G. Equivalent radii and ratios of radii from solution properties as indicators of macromolecular conformation, shape, and flexibility // Biomacromolecules. – 2007. – V. 8. – №. 8. – P. 2464-2475.



УДК 678.01: 536.495' 539.3 + 678.664'669

## НЕТКАНЫЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДОВ) С ВАРЬИРУЕМЫМ РАЗМЕРОМ ПОР

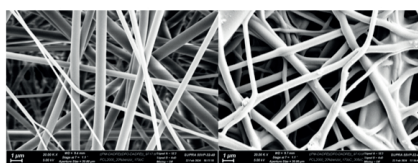
**Диденко А.Л.<sup>1</sup>, Нестерова А.С.<sup>1</sup>, Ваганов Г.В.<sup>2</sup>, Камалов А.М.<sup>2</sup>, Крафт В.Е.<sup>2</sup>,  
Иванькова Е.М.<sup>2</sup>, Анохина Т.С.<sup>1</sup>, Борисов И.Л.<sup>1</sup>, Малахов А.О.<sup>1</sup>, Кудрявцев В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт высокомолекулярных соединений НИЦ «Курчатовский институт», С-Пб

E-mail: vanilin72@yandex.ru

Нетканые материалы на основе сополи(уретан-имидов) (СПУИ) получены методом электроспиннинга. Технология электроосаждения позволяет получить нетканый материал с диаметром волокон от 100 нм до нескольких микрометров. На основе полученных нетканых материалов разрабатываются фильтры для детоксикации крови, кроме того эти материалы перспективны в качестве матриц для клеточных технологий. В работе получены нетканые материалы с использованием в качестве мономеров диангирида дифенилоксидтетракарбоновой кислоты, пиромеллитового ангидрида, диаминодифенилового эфира и поликапролатктона, терминированного толуиленидиизоцианатом. Для электроосаждения использовали растворы преполимеров СПУИ в амидных растворителях с добавлением в них имидизующей смеси, что позволило избежать в дальнейшей стадии имидизации полимера. Подобраны оптимальные условия электроосаждения для формирования волокон заданного диаметра. Химическая структура волокон подтверждалась методом ИК-спектроскопии. Исследование микроструктуры нетканых материалов проводилось методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).



а б

**Рисунок 1.** СЭМ-фотографии: мембраны сополи(уретан-имида) прогретой до 170°C(а) и мембраны сополи(уретан-имида) прогретой при 305°C в процессе прессования(б).

Варьируя соотношение диангидридов в синтезе СПУИ, изменяли плавкость электроосажденных матов, что позволило при прессовании матов менять размер пор и плотность конечных нетканых материалов.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 22-19-00831).

### Ссылки

[1] Kamalov A.M., Kraft V.E., Vaganov G.V., Nesterova A.S., Borisova M.E., Ivankova E.M., Yudin V.E., // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. – 2023. Vol. 16, № 3.2 – P. 233–238.

УДК 615.242

## БИОПОЛИМЕРНЫЕ ПАТЧИ ДЛЯ ОРОМУКОЗАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ КОРТИКОСТЕРОИДОВ

**Дубашинская Н.В., Петрова В.А., Скорик Ю.А.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О. 31  
E-mail: dubashinskaya@gmail.com*

Мукоадгезивные полимерные патчи являются перспективной лекарственной формой для пролонгированной и контролируемой доставки местных кортикостероидов с целью улучшения их биофармацевтических свойств (главным образом, повышения местной биодоступности и снижения системной токсичности). Основными преимуществами патчей по сравнению с традиционными лекарственными формами являются их высокие мукоадгезивные свойства и увеличенное время пребывания препарата на слизистой оболочке полости рта, возможность модифицированного и однонаправленного высвобождения препарата, высокая местная биодоступность и улучшенный профиль безопасности, дополнительная защита болевых рецепторов и удобство для пациента. Основным подходом для разработки оромукозальных патчей с улучшенными фармакологическими свойствами является получение полислоистых патчей с однонаправленным высвобождением лекарств на основе биосовместимых и нетоксичных мукоадгезивных биополимеров, например, хитозана, гиалуроновой кислоты, бактериальной целлюлозы, этилцеллюлозы и др. [1].

Целью данной работы была разработка патчей в виде биополимерных пленок и нетканых материалов, полученных методом электроспиннинга. В качестве биополимеров использовали хитозан и бактериальную целлюлозу, в качестве модельного кортикостероида – клобетазола пропионат. Было изучено влияние наполнителей органической и неорганической природы (дезинтегрированная бактериальная целлюлоза и галлуазит), а также способа введения клобетазола пропионата (в чистом виде и в виде комплексов с  $\beta$ -циклодекстрином) на профиль высвобождения кортикостероида. В результате были получены патчи с модифицированным лекарственным высвобождением и выраженной противовоспалительной активностью.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского научного фонда (проект № 23-РБ-03-07).

### **Ссылки**

[1] Dubashynskaya N.V., Skorik Y.A. Patches as polymeric systems for improved delivery of topical corticosteroids: Advances and future perspectives //International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23. – №. 21. – P. 12980.

УДК 541.49+541.65

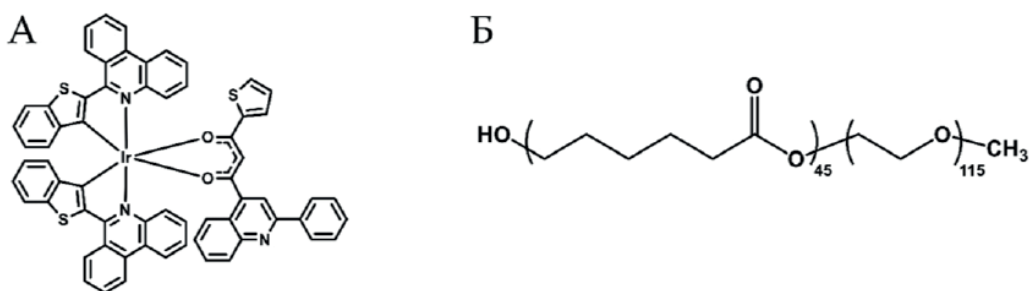
## ФОСФОРЕСЦЕНТНЫЕ ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРНЫЕ МИЦЕЛЛЫ ДЛЯ ВНУТРИКЛЕТОЧНОГО СЕНСИНГА КИСЛОРОДА

**Елистратова А.А., Кузнецов К.М., Соломатина А.И., Шакирова Ю.Р., Челушкин П.С.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии,  
г. Санкт-Петербург, Университетский пр., 26  
E-mail: anastasia0905@yandex.ru

Кислород играет фундаментальную роль в жизнедеятельности аэробных клеток, поэтому сенсинг кислорода является ценным инструментом, способным углубить понимание процессов метаболизма, адаптации к гипоксии, регуляции генов и развития патологических состояний. Люминесцентные наноразмерные сенсоры на основе комплексов переходных металлов (КПМ) способны определять концентрацию кислорода с высокой чувствительностью и специфичностью *in vivo*. В настоящее время выбор коммерчески доступных кислородных сенсоров ограничен, при этом они зачастую бывают сложны в изготовлении или не способны проникать в клетки.

В данной работе представлено исследование новых кислородных сенсоров на основе блок-сополимерных мицелл с инкапсулированными комплексами Ir(III) и Pt(II), работающих в режиме PLIM (микроскопия с визуализацией по времени жизни фосфоресценции). В результате скрининга среди различных блок-сополимеров полиэтиленоксида и КПМ была выбрана система с оптимальным набором свойств. Сенсор Ir3@PCL<sub>45</sub>-b-PEG<sub>115</sub> (Рис. 1.) обладает высокой стабильностью в биологическом окружении, моноэкспоненциальным спадом времени жизни, сохраняющимся в широком диапазоне внешних условий, нетоксичен в концентрациях до 0,3 мг/мл. Сенсор доказал свою эффективность на клеточных линиях CHO-K1 и HeLa, продемонстрировав разницу времён жизни в аэрированном и деоксигенированном состоянии, соответствующую калибровке в модельных средах.



**Рисунок 1.** А) Структура комплекса Ir3; Б) Структура блок-сополимера PCL45-b-PEG115.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 24-23-00275) с использованием оборудования Ресурсных Центров Научного Парка СПбГУ: Методы анализа состава вещества; Магнито-резонансные методы исследования; Диагностика функциональных материалов; Оптические и лазерные методы исследования вещества.

УДК 541.64:539.199

## ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНИЦИАТОРА НА МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КОНЦЕВЫХ ГРУПП В РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОТОНИРОВАННОГО ДИАЛЛИЛАММОНИЯ

**Еременко И.В.<sup>1</sup>, Симонова Ю.А.<sup>1</sup>, Ивина П.Д.<sup>1</sup>, Евлампиева Н.П.<sup>2</sup>, Филатова М.П.<sup>1</sup>,  
Бондаренко Г.Н.<sup>1</sup>, Клещева Н.А.<sup>1</sup>, Тимофеева Л.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук  
119991 Москва, Ленинский пр., 29*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный Университет  
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9  
E-mail: iveremenko@ips.ac.ru*

Протонированные диаллиламмониевые полимеры привлекают внимание благодаря их высокой антимикробной активности, включающей активность против микобактерий *M. tuberculosis*. [1] Для уменьшения цитотоксического действия полимеров необходимы образцы с небольшой ММ. В работе исследована свободно-радикальная полимеризация мономера диаллиламмония трифторацетата в условиях высоких концентраций инициатора персульфата аммония (до  $10^{-1}$  М) и средних температур полимеризации (до 50°C) для получения полимеров с небольшой степенью полимеризации. Показано, что в таких условиях можно получить полимеры с ММ 15-25 кДа. С помощью ЯМР и ИК-спектроскопии показано, что с увеличением концентрации инициатора и, соответственно, уменьшением ММ полимеров, относительное количество характерных концевых винильных групп уменьшается, а превалирующими становятся концевые группы, образованные взаимодействием макрорадикалов с инициатором, в данном случае, сульфатные группы персульфата аммония. Полученные данные свидетельствуют о том, что при высоких концентрациях инициатора характерные реакции передачи цепи на мономер в значительной степени кинетически подавляются взаимодействиями макрорадикалов с инициатором. Данный подход может быть использован в дальнейшем для варьирования свойств антимикробной активности и токсичности полимеров.

### Благодарность

Работа выполнена частично в рамках гранта РФФ, проект № 23-23-00420.

### Ссылки

[1] Timofeeva L.M. Secondary and Tertiary Polydiallylammonium Salts: Novel Polymers with High Antimicrobial Activity / Timofeeva L.M., Klesheva N.A., Moroz A.F., Didenko L.V. // *Biomacromolecules*. 2009. V. 10. P. 2976.

УДК: 547.458

## БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ПОЛИЭФИРОВ. ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

**Зайцев С.Д., Леднев И.Р., Мальцева Е.А., Смирнова Л.А.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
E-mail:ildnv235@gmail.com*

Актуальность темы исследования связана с необходимостью создания полимерных материалов биомедицинского назначения и пригодных для использования в качестве матриц для регенеративной медицины. Известно значительное число работ, посвященных материалам на основе биоразлагаемых полиэфиров, таких как полилактид, поликапролактон, и полисахарида хитозана. Эти полимеры признаны перспективными для создания комбинированных биodeградируемых материалов, удачно сочетающих свойства синтетического и природного компонентов. Полиэфиры удобны с технологической точки зрения, поскольку материалы на их основе имеют высокие механические характеристики и являются термопластичными, однако высокая гидрофобность и низкая клеточная адгезия ограничивают применение для решения ряда медицинских задач, что может быть решено введением хитозана.

Блок-сополимеры полиэфиров (полилактида, поликапролактона) и хитозана были получены в растворе смеси гомополимеров с использованием ультразвукового воздействия. Для совмещения хитозана с полилактидом или поликапролактоном их растворяли в диметилсульфоксиде и хлороформе, соответственно, после чего смешивали оба раствора и подвергали ультразвуковой обработке в течение 30 мин при 25°C. Из приготовленного раствора методом полива получали пленки и сушили до постоянной массы при 70°C, далее исследовали их механические, структурные, теплофизические и биологические свойства. Образцы характеризовались высокими механическими свойствами (предел прочности при разрыве ~ 80 МПа, при относительном удлинении при разрыве 20%) и биосовместимостью. Структура и характеристики блок-сополимеров были изучены методами рентгенофазового анализа, гель-проникающей хроматографии и дифференциально-сканирующей калориметрии. Блоки хитозана в образцах были ферментативно разложены, что позволило определить молекулярно-массовые характеристики полиэфирных блоков. Исследование образцов методом рентгенофазового анализа показало аморфизацию, как хитозановых блоков, так и полиэфирных, относительно смесевой композиции. Методом дифференциальной сканирующей калориметрией выявлено снижение температуры плавления полиэфирных блоков и снижение температуры стеклования у хитозановых блоков в сополимере.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-13-00342).

УДК 541.64:547.39

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ ПРИВИВКОЙ ПОЛИОКСАЗОЛИНА: ПОДВОДНЫЕ КАМНИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

**Зорин И.М.**, Фетин П.А., Губарев А.С., Лезов А.А., Перевязко И.Ю.

*Подсевальникова А.Н., Микушева Н.Г., Михайлова М.Е., Цветков Н.В.  
Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
E-mail: i.zorin@spbu.ru*

Поли-2-оксазолины представляют собой перспективное семейство водорастворимых биосовместимых полимеров, обладающих рядом ценных свойств, в частности, мукоадгезивностью. С использованием поли-2-оксазолинов можно конструировать более сложные мультифункциональные макромолекулярные системы, например, для управляемой доставки лекарственных препаратов. В данной работе рассмотрены графт-сополимеры, полученные на основе природных пуллулана и геллана с привитыми боковыми цепями поли(2-метил-2-оксазолин)а.

Для синтеза графт-сополимеров применяли стратегию «прививка к...», с использованием методологии клик-химии — реакции медь-катализируемого азид-алкинового циклоприсоединения. Полисахарид превращали в пропаргильное производное реакцией с пропаргилбромидом, поли(2-метил-2-оксазолин) получали катионной полимеризацией, концевые азидные группы формировали обывом цепи на азиде натрия.

Реакцию азид-алкинового присоединения проводили в воде или ДМСО с использованием металлической меди или пары ацетат меди (II)-аскорбат натрия в качестве катализатора. Продукты выделяли путем диализа с последующей лиофильной сушкой. Степень замещения оценивали из данных ЯМР.

Обнаружено, что в присутствии меди (II) и аскорбиновой кислоты в ряде случаев имела место значимая деструкция полисахарида, с образованием олигомерных продуктов, содержащих 1-3 привитых цепи полиоксазолина [1]. Образцы полисахаридов из разных источников в разной степени восприимчивы к такой окислительной деструкции.

Использование металлической меди значительно снижает долю таких реакций.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда

№ 22-13-00187, <https://rscf.ru/project/22-13-00187/>

Работа выполнена при техническом содействии Научного парка СПбГУ: РЦ «Магнитно-резонансные методы исследования», РЦ «Методы анализа состава вещества», РЦ «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники»

### Ссылки

[1] Zorin I.M. Pullulan-Graft-Polyoxazoline: Approaches from Chemistry and Physics / I.M. Zorin, P.A. Fetin, N.G. Mikusheva, A.A. Lezov, I. Perevyazko, A.S. Gubarev, A.N. Podsevalnikova, S.G. Polushin, N.V. Tsvetkov // *Molecules* 2024, 29, 26. DOI 10.3390/molecules29010026



УДК 544.032.4

## МЕТОД ЭПР В РАМКАХ МЕТОДИКИ СПИНОВОГО ЗОНДА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ БИОСОВМЕСТИМЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

**Иванова Т.А.<sup>1,2</sup>, Зубанова Е.М.<sup>1</sup>, Тимашев П.С.<sup>1,2</sup>, Голубева Е.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 3

<sup>2</sup> Институт Регенеративной Медицины, Сеченовский Университет,  
г. Москва, ул. Трубецкая, д.8  
E-mail: Tatianaivanovamsu@gmail.com

Одним из активно развивающихся направлений биомедицины является создание систем доставки лекарств (СДЛ), представляющих собой полимерную матрицу, внутрь которой введено биологически активное соединение (БАС), скоростью высвобождения которого важно управлять. Таким образом, актуальной задачей является выявление взаимосвязи между структурой и составом матрицы, природой БАС и кинетикой и механизмом высвобождения допантов из СДЛ.

В настоящей работе при помощи сверхкритических флюидных (СКФ) технологий на основе  $\text{scCO}_2$ , позволяющих изменять характеристики получаемых структур за счет варьирования параметров СКФ процесса, сформированы пористые матрицы из полилактида (PLA), допированные нитроксильными спиновыми зондами. С использованием метода ЭПР установлено, что основным механизмом высвобождения допанта из пористого матрикса PLA ( $M_n=14.8$  кДа) является диффузия зонда из заранее сформированных в ходе СКФ процесса пор, а в случае пленок PLA ( $M_n=11.8$  кДа и  $M_n=14.8$  кДа) центральную роль в высвобождении играет диффузия в порах, которые возникают, растут или зарастают в полимерной матрице. Сочетание и конкуренция этих процессов объясняют «выбросы» и периоды замедления на кривых высвобождения. Сополимеризация N-изопропилакриламида (NIPAM) с PLA позволила снизить нижнюю критическую температуру растворения (НКТР) и увеличить гидрофобность термочувствительного сополимера P(NIPAM-g-PLA) по сравнению с PNIPAM, что перспективно для внедрения гидрофобных БАС. Предложен новый метод формирования СДЛ, основанный на захвате БАС полимерными глобулами, образующимися в результате коллапса полимерных цепей выше НКТР и последующей декантацией внешнего раствора. Основным механизмом высвобождения ТЕМПО из глобул PNIPAM и P(NIPAM-g-PLA) выше НКТР является механизм броуновской диффузии.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ-БРФФИ (24-45-10012).

УДК 577.323

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОТОНИРОВАНИЯ И ДЕПРОТОНИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЫ ДНК В РАСТВОРАХ МАЛОЙ ИОННОЙ СИЛЫ

**Касьяненко Н.А., Хансэцэн Болорхуу**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, 199034, Университетская наб. 7/9  
E-mail: n.kasyanenko@spbu.ru*

Изучение полиэлектролитных свойств ДНК является важной задачей, так как электростатические взаимодействия в живых системах играют очень важную роль и во многом определяют функциональные свойства нуклеиновых кислот и характер их взаимодействия с белками и низкомолекулярными биологически активными агентами. ДНК функционирует в водной среде. В широкой области рН зарядовые свойства макромолекулы определяют отрицательно заряженные фосфатные группы, расположенные на поверхности двойной спирали, но при отклонении рН от нейтральных значений конформация макромолекулы может меняться из-за появления заряда на гетероциклических основаниях, локализованных внутри спиральной структуры. Ионогенные группы азотистых оснований могут обеспечить более высокую плотность отрицательного заряда молекулы ДНК в области щелочных рН, либо же перевести макромолекулу в состояние полиамфолита в кислой области из-за протонирования оснований. Ионизация оснований происходит внутри спирали, вследствие чего вторичная структура ДНК претерпевает заметные изменения, что в итоге приводит к кислотной или щелочной денатурации макромолекулы.

Изучение влияния изменения зарядовых свойств ДНК в растворах разных рН на ее конформационные параметры представляет интерес для понимания молекулярных основ макромолекулы с различными агентами, так как в системах *in vivo* вариация рН зачастую регулирует функциональные свойства биополимеров и влияет на формирование биологически значимых комплексов.

В работе рассматривается результат изучения влияния рН раствора на спектральные свойства молекулы ДНК, позволяющие сделать вывод о состоянии вторичной структуры макромолекулы, а также на объем и персистентную длину макромолекулы, - конформационные параметры, определяющие третичную структуру ДНК. Исследования проведены в растворах разной ионной силы, что позволило выявить влияние концентрации введенной соли (NaCl) на процессы протонирования и депротонирования молекулы ДНК. Проанализировано также изменение зарядовых свойств ДНК при формировании ее комплексов с биологически активными соединениями.

УДК 539.199

**ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ АЛЬТЕРНАНТНЫЕ ЩЕТКИ  
ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА****Блохин А.Н., Кирилэ Т.Ю., Разина А.Б., Родченко С.В., Козина Н.Д.,  
Теньковцев А.В., Филиппов А.П.***НИЦ «Курчатовский институт», Институт высокомолекулярных соединений  
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: tatyana\_pux@mail.ru*

В работе изучены гидродинамические характеристики и процессы самоорганизации термочувствительных альтернантных щеток при варьировании длины боковых цепей поли-2-алкил-2-оксазолинов (ПаОЗ). В качестве боковых цепей использовали поли-2-изопроил-2-оксазолин (ПипОЗ) и поли-2-этил-2-оксазолин (ПэОЗ).

Молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики исследованных полимерных щеток ПаОЗ были определены методами молекулярной гидродинамики и оптики в растворах в 2-нитропропане. Процессы самоорганизации изучали методами светорассеяния и турбидиметрии в водных растворах при варьировании концентрации полимера.

По величинам молекулярных масс (ММ) щеток и ММ макроинициаторов рассчитана степень полимеризации основной цепи и число боковых цепей. Проведено сравнение длины основной и боковых цепей исследованных образцов. Показано, что контурная длина основной цепи сополимеров изменяется от 3.2 до 5.1 нм. Таким образом, для всех синтезированных образцов длина основной цепи меньше длины боковых цепей, а молекулы полимерных щеток ПаОЗ по форме напоминают звездообразную макромолекулу.

Методом динамического рассеяния показано, что характер самоорганизации макромолекул исследованных полимерных щеток ПаОЗ в водных растворах зависит от длины боковых цепей уже при комнатной температуре. Для всех образцов зафиксирован одинаковый набор рассеивающих объектов, однако, доля агрегатов увеличивается при увеличении ММ. Причинами формирования агрегатов являются взаимодействия гидрофобных основных цепей, а также образование межмолекулярных водородных связей вследствие дегидратации мономерных звеньев в ПаОЗ цепях.

Поведение водных растворов исследованных полимерных щеток при нагревании качественно подобно тому, что обычно наблюдается для термочувствительных полимеров. Для всех водных растворов изученных полимерных щеток ПаОЗ зафиксировано увеличение значений температур фазового расслоения при уменьшении концентрации. Отметим, что полученные температуры фазового расслоения зависят как от ММ полимера, так и от длины боковых цепей. Это обусловлено различным гидрофильно-гидрофобным балансом для изученных полимеров.

**Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-23-00079.

УДК 539.199

## ВЛИЯНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ

**Кирилл Т.Ю., Козина Н.Д., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.**

*НИЦ «Курчатовский институт», Институт высокомолекулярных соединений  
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: tatyana\_pux@mail.ru*

Обобщаются результаты исследований стимул-чувствительных линейных и звездообразных поли-2-алкил-2-оксазолинов (ПаОЗ). Для определения конформации линейных ПаОЗ был изучен гомологический ряд поли-2-изопропил-2-оксазолина (ПипОЗ). Показано, что линейный ПипОЗ является типичным гибкоцепным полимером с длиной сегмента Куна  $A = (2.0 \pm 0.3)$  нм. Обнаружено увеличение  $A$  при возрастании размера бокового радикала в макромолекулах ПаОЗ.

Для установления влияния архитектуры макромолекул на свойства ПаОЗ в растворах были изучены звездообразные ПаОЗ при вариации строения, длины и числа лучей и строения центров ветвления (ЦВ). В качестве ЦВ использовались каликс[ $n$ ]арены (К[ $n$ ]А) и гексаазациклофан (ЦФ6). Число лучей варьировалось от 4 до 16. Лучами звездообразных полимеров являлись гомополимеры ПипОЗ и поли-2-этил-2-оксазолины (ПэОЗ), их блок- и градиентные сополимеры. На примере звездообразных 6-ти лучевых полимеров с ЦФ6 ядром проанализирована конформация макромолекул при разной длине ПаОЗ. Показано, что удлинение лучей приводит к увеличению их свернутости. При переходе от 4-х к 16-ти лучевым ПаОЗ наблюдается снижение фактора сжатия, что отражает увеличение внутримолекулярной плотности при увеличении числа лучей.

Влияние архитектуры ПаОЗ на термочувствительность проявляется уже при низких температурах. Водные растворы линейных полимеров молекулярно дисперсные, в то время как в растворах звездообразных ПаОЗ существует несколько типов частиц. Показано, что для линейных ПаОЗ скорость снижения температуры фазового разделения  $T_1$ , с ростом молекулярной массы (ММ) резко падает и при  $ММ > 5000$  г/моль  $T_1$  слабо зависит от ММ. Проанализировано влияние конфигурации К[ $n$ ]А на термочувствительность ПаОЗ и показано, что для звезд с ПаОЗ лучами, присоединенными по верхнему ободу К[ $n$ ]А, температуры  $T_1$  ниже, по сравнению с  $T_1$  для полимеров, в которых лучи присоединены к нижнему ободу К[ $n$ ]А. Выявлено влияние распределения звеньев ПэОЗ и ПипОЗ на термочувствительность ПаОЗ звезд. Показано, что порядок присоединения блоков не сказывается на температурах фазового разделения.

### **Благодарность**

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» (Регистрационный номер 124013000727-3).

УДК 544.03

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНА И ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА

**Клименко И.В.<sup>1</sup>, Бибиков С.Б.<sup>1</sup>, Лобанов А.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИБХФ РАН, 119334 Москва, ул. Косыгина 4

<sup>2</sup> МПГУ, Институт биологии и химии, 129164, Москва, ул. Кибальчича 6

E-mail: inna@deom.chph.ras.ru

В работе представлены новые данные по изучению спектральных (поглощение и флуоресценция) и электрических свойств полимерных пленок на основе поли-N-винилпирролидона, содержащих мономерную и агрегированные формы 5,10,15,20-тетрафенилпорфирина (ТФП) и 5,10,15,20-тетракис(4'-сульфонатофенил)порфирина (ТСФП) в стабилизированном состоянии.

Электрофизические измерения параметров образцов пленок проводили при комнатной температуре на созданной в ИБХФ РАН лабораторной установке, состоящей из программируемого и управляемого от компьютера источника постоянного тока Б5-80, усилителя У5-11, а также программируемого мультиметра В7-80, сопряженного с компьютером и используемого в качестве регистрирующего прибора.

Спектры оптического поглощения (200-900 нм) регистрировали с помощью UV-VIS спектрофотометра TU-1901 фирмы "Beijing Purkinje General Instrument Co, Ltd". Анализ плохо разрешенных спектров поглощения проводили на основе разложения его на гауссовы составляющие. Регистрация спектров флуоресценции в области 550-800 нм проводили с использованием спектрофлуориметра «Флюорат-02 Панорама» фирмы «Люмэкс». Длина волны возбуждения составляла 420 нм. Все измерения проводили при 20 °С на кварцевых подложках. Результаты измерений усреднены в серии из трех образцов для каждой структурной единицы.

Для пленок с J-агрегатами зарегистрированы флуоресценция и электрический отклик, которые практически не наблюдаются в случае пленок с H-агрегатами. Эти данные, а также наличие поглощения в красной области спектра делают J-агрегаты ТФП перспективными материалами при создании пленочных систем для фотовольтаики и фотокатализа. Вариативный синтез и изменение состава таких пленок позволяет получать тонкие пленки органических материалов с заранее заданными свойствами и широким спектром возможностей.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (№ гос. регистрации 122041400110-4) и проекта "Исследование проблем утилизации отходов природного происхождения в целях практического использования полученных продуктов" (122122600056-9).

УДК 54.057, 541.14, 544.2

## НОВАЯ ВОДОРАСТВОРИМАЯ ФОРМА BODIPY ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ КРЕМОФОРА®

**Клименко И.В.<sup>1</sup>, Ксенофонтов А.А.<sup>2</sup>, Антина Е.В.<sup>2</sup>, Лобанов А.В.<sup>1,3</sup>**

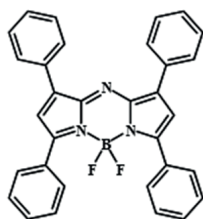
<sup>1</sup> ИБХФ РАН, 119334 Москва, ул. Косыгина 4

<sup>2</sup> ИХР РАН, 119334 Иваново, ул. Академическая 1

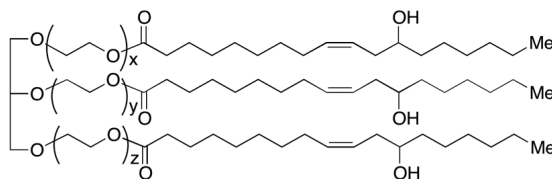
<sup>3</sup> МПГУ, Институт биологии и химии, 129164, Москва, улица Кибальчича 6

E-mail: inna@deom.chph.ras.ru

В данной работе была получена новая водорастворимая форма бор(III)дипиррометеновых люминофоров на примере 3,3',5,5'-тетрафенил-*ms*-аза-2,2'-дипиррометената бора(III) (BODIPY) и Кремофора® (полиэтиленгликоль, ПЭГ-40) и проведено исследование спектрально-флуоресцентных свойств люминофора в зависимости от концентрации красителя и водно-органического состава среды. При этом Кремофор® оказался единственным из серии исследованных нами вспомогательных веществ (ПЭГ, поли-N-винилпирролидон, бычий сывороточный альбумин, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, диметилсульфоксид), обеспечивающим сольubilизацию BODIPY в водной среде, при которой сохраняются поглощение и интенсивная флуоресценция люминофора в красной области спектра.



BODIPY



$x, y, z = 40$

Кремофор® (полиэтиленгликоль, ПЭГ-40)

Анализ результатов исследования спектрально-флуоресцентных свойств полученных систем показал, что иммобилизация BODIPY на полимере ПЭГ-40 в водной среде позволяет получать препараты с пролонгированным действием и возможностью использования их в качестве фотосенсибилизаторов при фотодинамической терапии и диагностике.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБХФ РАН (№ гос. регистрации 122041400110-4) и проекта "Исследование проблем утилизации отходов природного происхождения в целях практического использования полученных продуктов" (122122600056-9).



УДК 541.64;547.787.1

## ГЕКСААЗА[26]ЦИКЛОФАНЫ В СИНТЕЗЕ ЗВЕЗДООБРАЗНЫХ ПОЛИ(2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРО-4Н-ОКСАЗИН)ОВ

**Козина Н.Д.**, Блохин А.Н., Кирилэ Т.Ю., Филиппов А.П., Теньковцев А.В.

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31  
E-mail: ndkozina@gmail.com*

Поли(2-алкил-5,6-дигидро-4Н-оксазин)ы – амфифильные, биосовместимые и термочувствительные полимеры, представляющие интерес с точки зрения их биомедицинского применения. Особое значение имеют звездообразные поли(2-алкил-5,6-дигидро-4Н-оксазин)ы с функциональным ядром. Соединения на основе азацicloфанов обладают выраженной склонностью к комплексообразованию и образуя, например, комплексы состава 1:1 с европием и гадолинием, могут применяться в качестве контрастных средств в магниторезонансной томографии. Вследствие наличия вторичных аминогрупп, азацicloфаны могут выступать в качестве терминирующих агентов «живых» полиоксазиновых цепей. Это дает возможность использовать полученные соединения для синтеза звездообразных полимеров подходом «прививка на».

С целью получения термочувствительных звездообразных полиалкилениминов с макроциклическим полиазацicloфановым ядром разработан метод синтеза азацicloфанов [3+3]-циклотримеризацией R,R- и R,S-транс-1.2-циклогександиамина с терефталевым альдегидом. Вследствие стереокомплментарности, реакция образования циклического основания Шиффа протекает с выходами близкими к количественному и, после восстановления боргидридом натрия, приводит к целевым макроциклам. Для получения термочувствительных звездообразных полимеров, синтезированные азацicloфаны были использованы в качестве обрывателя «живых» поли(2-алкил-5,6-дигидро-4Н-оксазин)овых цепей. Структура синтезированных полимеров была подтверждена методами  $^1\text{H}$  ЯМР – и УФ- спектроскопии. Молекулярно-массовые характеристики полимеров были получены из данных ГПХ и статического светорассеяния.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 23-13-00205

УДК 544.777

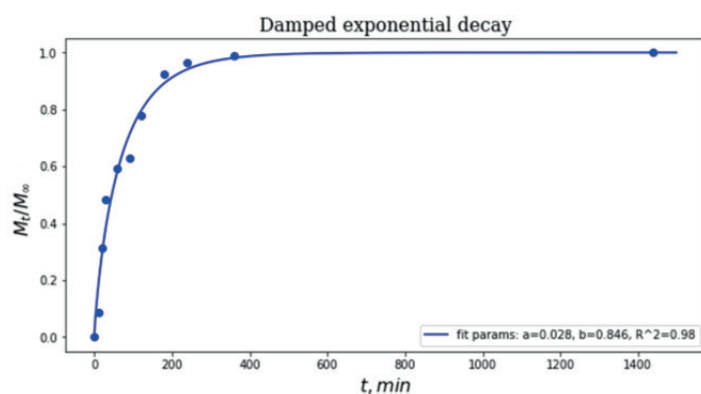
## КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЕЙ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

**Колосова О.Ю., Рыжова А.С., Абрамова Е.О., Лозинский В.И.**

*ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, ул. Вавилова 28  
E-mail: kolosova@ineos.ac.ru*

Поиск новых гелевых материалов для контролируемой доставки лекарственных средств является одной из актуальных задач биомедицинской области. Физические криогели ПВС являются перспективными материалами для этих областей. Благодаря сочетанию таких свойств как эластичность, нетоксичность, биосовместимость и макропористая структура этих материалов, криогели ПВС успешно применяются в качестве «депо-форм» для биологически-активных веществ [1, 2].

В данной работе были получены криогели ПВС методом «замораживания-оттаивания», содержащие различные концентрации биологически-активных веществ (аминокислоты, антимикробные агенты). Были оценены модули упругости полученных криогелей ПВС, их термофизические свойства, а также изучена динамика высвобождения лекарственного средства из гелевой матрицы.



**Рисунок 1.** Кинетика высвобождения цефтриаксона из криогеля ПВС.

Таким образом, показана возможность применения криогелей ПВС в качестве «депо-форм» для лекарственных средств.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания №075-03-2023-642 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Ссылки

[1] Kolosova O.Yu. Cryostructuring of polymeric systems. 64. Preparation and properties of poly(vinyl alcohol)-based cryogels loaded with antimicrobial drugs and assessment of the potential of such gel materials to perform as the gel implants for treatment of infected wounds / O.Yu. Kolosova, A.I. Shaikhaliev, M.S. Krasnov, I.M. Bondar, E.V. Sidorskii, E.V. Sorokina, V.I. Lozinsky // Gels. – 2023. – V. 9. – article 113.

[2] Lozinsky V.I. Cryostructuring of Polymeric Systems. 55. Retrospective View on the More than 40 Years of Studies Performed in the A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds with Respect of the Cryostructuring Processes in Polymeric Systems // Gels. - 2020- V.6 -article 29

УДК 547, 54-3, 54.04

## СИНТЕЗ И АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА КОНЬЮГАТОВ КОЛИСТИНА С СИНТЕТИЧЕСКИМ ГЛИКОПОЛИМЕРОМ

Степанова М.А.<sup>1</sup>, Егорова Т.С.<sup>2</sup>, Левит М.Л.<sup>1</sup>, Скорик Ю.А.<sup>1</sup>, Коржикова-Влах Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой пр. 31

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт особо чистых биопрепаратов ФМБА России,  
Санкт-Петербург, ул. Пудожская 7  
E-mail: vlakh@mail.ru

Возникновение резистентности микроорганизмов к антибиотикам является крайне острой проблемой в лечении инфекционных заболеваний в последние годы [1]. С целью преодоления данной проблемы, с одной стороны, активно ведется поиск новых субстанций с антимикробной активностью, а с другой – усовершенствуются подходы к применению известных антибиотиков, имеющих ограниченное применение из-за множественных побочных эффектов. К последним относится такой класс антибиотиков как полимиксины, введенные в медицинскую практику еще в 60-х годах прошлого века. Полимиксины представляют собой природные циклические пептиды, среди которых в комбинированной терапии тяжелых бактериальных инфекций клинически применяются только полимиксин Е (колистин) и полимиксин В [2]. Нестабильность пептидной структуры полимиксинов в кровотоке обуславливает использование повышенных доз препарата для достижения нужного терапевтического эффекта, что, в свою очередь, приводит к возникновению нефро- и нейротоксичности. Для снижения токсичности полимиксинов предлагаются такие подходы как инкапсулирование в полимерные наночастицы или конъюгирование с полимерами.

В рамках данной работы были получены новые водорастворимые конъюгаты колистина с поли(2-деоксиметакриламид-D-глюкозой) (ПМАГ) с различным содержанием антибиотика в конъюгате. Все полученные конъюгаты были охарактеризованы методами ИК- и <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии. Для повышения эффективности доставки антибиотика в очаг бактериального поражения также синтезированы конъюгаты, содержащие в своем составе сидерофор (дефероксамин). В экспериментах на культуре *Pseudomonas aeruginosa* установлены конъюгаты с наиболее оптимальными по активности составами. Показано, что введение дефероксамина и хелатирование ионов железа(III) улучшало антимикробную эффективность колистина в составе конъюгатов. Изучение скорости высвобождения колистина из конъюгата, в котором антибиотик был связан с полимером через гидролизуюмую связь, показало более интенсивное высвобождение в модельной среде с рН, характерным для верхних отделов кишечника, по сравнению с рН плазмы крови.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (№19-73-20157).

### Ссылки

- [1] Willyard C. The drug-resistant bacteria that pose the greatest health threats // Nature. Nature, 2017. Vol. 543, № 7643. P. 15.
- [2] Dubashynskaya N.V. et al. Polymyxin Delivery Systems : Recent Advances and Challenges // Pharmaceuticals. 2020. Vol. 13. P. 83.

УДК 544.165

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕЛЕЙ С ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ОБОЛОЧКОЙ И ЗАРЯЖЕННЫМ ЯДРОМ

**Кравченко В.С.<sup>1,2</sup>, Потёмкин И.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова,  
ул. Вавилова 28, г. Москва, 119334*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Ленинские горы 1-2, г. Москва, 119991  
E-mail: [kravchenko@polly.phys.msu.ru](mailto:kravchenko@polly.phys.msu.ru)*

Микрогели – макромолекулы высокой молекулярной массы, представляют собой отдельный тип умных материалов. Существует несколько способов, благодаря которым можно управлять их размерами или структурой с использованием внешних воздействий. Микрогели могут набухать или коллапсировать в ответ на изменения температуры, pH, ионной силы раствора или состава растворителя. Это дает им возможность быть идеальными кандидатами для использования в самых разных областях, таких как адресная доставка лекарств, сенсоры или пищевые добавки. К тому же, можно модифицировать состав микрогеля в процессе синтеза, что открывает новые возможности для использования. Хорошим примером являются микрогели со структурой ядро-оболочка, которые обычно состоят из полимеров с различными свойствами, например, гидрофобностью. Гостевые молекулы могут быть помещены в ядро, в то время как оболочка может переключаться между набухшим или сколлапсированным состояниями под воздействием внешнего стимула. Благодаря чему такие микрогели можно будет использовать для контролируемого высвобождения или поглощения гостевых молекул.

В настоящей работе с помощью компьютерного моделирования были исследованы микрогели со структурой ядро-оболочка, причем ядро могло быть заряженным, а оболочка – термочувствительной. Было показано, что происходит со структурой микрогеля при коллапсе оболочки для разных соотношений масс ядра и оболочки, разной доли заряженных звеньев в ядре и разных длинах субцепей в ядре и оболочке. Кроме того, были проведены моделирования самоорганизации нескольких микрогелей, которые агрегировали за счет своих лиофобных оболочек.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-73-30013. Все моделирования производились на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

УДК 541.64

## АНИОННЫЕ СОПОЛИМЕРЫ РАЗНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО КЛЕЯ

**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 имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва  
kuznetsova@polly.phys.msu.ru*

Материалы с высокой адгезией активно используют во многих областях, от модификации поверхностей в электронике до мягких «роботов» в медицине. К примеру, медицинские клеи на основе полимеров используются для соединения тканей при повреждениях и разрывах. Использование таких адгезивов позволяет как ускорить процедуру закрытия разрывов, так и снизить травматизм и риск передачи инфекционных заболеваний [1]. В то же время, клей для регенеративной медицины должен сочетать в себе биосовместимость и высокую адгезию, а также не препятствовать росту тканей [2].

Одним из методов решения проблемы может стать использование клеев, получаемых путем формирования динамических нековалентных связей между компонентами. В настоящей работе в условиях радикальной полимеризации нами был синтезирован ряд анионных водорастворимых полимеров различного состава и структуры для дальнейшего использования в качестве одного из компонентов медицинского клея. Для синтеза использовали полимеризацию с обратимой передачей цепи, которую 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. Методом динамического светорассеяния изучены особенности термо- и pH-чувствительного поведения полимеров в водных растворах для определения оптимальных составов для дальнейшего включения в состав адгезивной композиции.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-43-00049).

### Ссылки

[1] Chao M. Ultra-strong bio-glue from genetically engineered polypeptides

[2] Yifan Zhang. Photocurable Hyperbranched Polymer Medical Glue for Water-Resistant Bonding

УДК 66.095.118

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕТЕРОГЕННОГО ДЕАЦЕТИЛИРОВАНИЯ $\alpha$ - И $\beta$ -ХИТИНА

**Кусков Т.Е.<sup>1,2</sup>, Подгорбунских Е.М.<sup>2</sup>, Бухтояров В.А.<sup>2</sup>, Бычков А.Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, ул. Пирогова 2

<sup>2</sup> Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, ул. Кутателадзе 18

E-mail: t.kuskov@g.nsu.ru

Хитин является распространенным природным биополимером, состоящим из звеньев N-ацетилглюкозамина, соединенных с помощью  $\beta$ -1,4-гликозидной связью. В природе существуют три полиморфные модификации хитина ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -хитин), которые отличаются друг от друга относительным расположением цепей полимера [1]. Хитозан представляет собой деацетилированное производное хитина, в котором доля свободных аминогрупп (степень деацетилирования, DDA) превышает 50 %.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к исследованиям по получению хитозана, обусловленному уникальными свойствами, такими как биосовместимость, биоразлагаемость и бактерицидность, что обеспечивает его широкое применение во многих отраслях промышленности [2].

Целью данной работы является получение хитозана из животного сырья на примере подмора пчел и хребтов кальмара, а также исследование реакции гетерогенного деацетилирования  $\alpha$ - и  $\beta$ -хитина.

Последовательной обработкой растворами кислот и щелочей были выделены  $\alpha$ - и  $\beta$ -хитины из подмора пчел и хребтов кальмара соответственно. Хитозан был получен обработкой 50% раствором NaOH. DDA образцов хитозана была оценена методами потенциометрического титрования, рентгенофазового анализа (РФА) и ИК-спектроскопии. Были записаны кинетически реакции деацетилирования, благодаря которым было выдвинуто предположение о механизме реакции.

Таким образом, в результате обработки кинетических кривых реакции гетерогенного деацетилирования хитина было выявлено, что в случае  $\alpha$ -хитина наблюдается две стадии: стремительное увеличение DDA и замедление процесса после первого часа реакции. В случае  $\beta$ -хитина кинетическая кривая аппроксимируется моделью кинетики псевдопервого порядка.

### Благодарность

Работа была поддержана государственным заданием ИХТТМ СО РАН (проект № 121032500067–9).

### Ссылки

[1] Tsurkan, M. V. Progress in chitin analytics / M. V. Tsurkan, A. Voronkina, Y. Khrunyk, M. Wysokowski, I. Petrenko, H. Ehrlich // Carbohydr. Polym. 2021. Vol. 252. # 117204.

[2] Cheung, R. C. F. Chitosan: An Update on Potential Biomedical and Pharmaceutical Applications / R. C. F. Cheung, T. B. Ng, J. H. Wong, W. Y. Chan // Mar. Drugs. 2015. Vol. 13. P. 5156–5186.



УДК 539.199; 544.777

## ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ГЕЛЛАНА И ГРАФТ-СОПОЛИМЕРА ПУЛЛУЛАНА С БОКОВЫМИ ГРУППАМИ ПОЛИ(2-МЕТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНА)

**Лезов А.А., Рогожин В.Б., Лезова А.А., Микушева Н.Г., Перевязко И.Ю., Полушина Г.Е.,  
Губарев А.С., Зорин И.М., Цветков Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
E-mail: a.a.lezov@spbu.ru*

Полисахариды находят широкое применение в пищевой, химической и медицинской промышленности как геле- и пленкообразователи, коагулянты, загустители и т.д. Геллан – это, пожалуй, самый известный гелеобразующий полисахарид. Контролировать процесс гелеобразования в геллане возможно посредством введения в его раствор одно- и многозарядных катионов. Так как биологические жидкости содержат катионы натрия в значительной концентрации, это обуславливает возможность его применения, как связующего агента в составе систем доставки лекарств при контакте с указанными катионами, а также свертывающего агента, ограничивающего кровопотери при контакте с поврежденными тканями организма. Химическая модификация геллана для обеспечения возможности транспорта лекарственных препаратов является достаточно трудоемкой процедурой, а потому актуальным оказывается поиск альтернативных вариантов решения этой задачи. Одним из возможных путей ее решения является создание систем, содержащих геллан, как гелеобразователь, и совместимый с ним полимер, применяемый для транспорта лекарственных препаратов. В качестве последнего может выступать пуллулан, который значительно эффективнее подвергается химической модификации ввиду неионной природы и хорошей растворимости в воде.

Были получены трехкомпонентные системы на основе геллана (Гл) и пуллулана-графт-поли(2-метил-2-оксазолина) (Пу-пМО) с добавлением  $\text{CaCl}_2$ , которые при контакте с раствором  $\text{NaCl}$  образуют гели. Полученные гели не разрушались при нагревании вплоть до температур порядка  $70^\circ\text{C}$ . Подобное поведение исследованных гелей демонстрирует возможность их практического применения для транспорта лекарств к тканям организма в присутствии биологических жидкостей в широком температурном диапазоне.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-13-00187, <https://rscf.ru/project/22-13-00187>)

УДК 539.199; 544.777

## ВЛИЯНИЕ АНИОНОВ НА ПОВЕДЕНИЕ КАТИОННЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Лезов А.А.**, Рогожин В.Б., Фетин П.А., Лезова А.А., Донец А.В., Власов П.С.,  
Губарев А.С., Зорин И.М., Цветков Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
E-mail: a.a.lezov@spbu.ru*

Чтобы адаптировать свойства живых систем к их биологическим функциям, природа создала уникальные макромолекулы, известные как полиэлектролиты, обладающие особыми физическими, химическими и механическими характеристиками. Стремясь воспроизвести и использовать эти уникальные свойства, ученые разработали множество типов заряженных систем, различающихся химическим строением, топологией и распределением заряженных фрагментов. Свойства всех ионных полимеров сильно зависят как от химического строения цепи, так и от способа взаимодействия этой цепи с окружением. Полиэлектролиты — макромолекулы, способные к ионизации в полярных растворителях; в результате полиэлектролитная цепь приобретает заряд одного знака [1]. На свойства растворов полиэлектролитов оказывает заметное влияние концентрация и природа низкомолекулярной соли - фонового электролита [2, 3].

В докладе представлены результаты исследования катионных полиэлектролитов поли(диаллилдиметиламмоний хлорида) и поли(11-акрилоилокси-ундецилтриметиламмоний бромида) в водных средах при вариации ионной силы растворов. В качестве фоновых электролитов были использованы соли NaCl, NaBr и NaI. Было установлено, что гидратация макромолекул и ионов низкомолекулярных солей в водных растворах оказывает решающее влияние на свойства изученных ионных полимеров в водно-солевых средах. Эти свойства сильно зависят как от концентрации исследуемых веществ, так и от температуры (которая непосредственно влияет на свойства гидратных оболочек).

### **Благодарность**

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 21-73-10132)

### **Ссылки**

- [1] Dobrynin A. V. Solutions of Charged Polymers // Polymer Science: A Comprehensive Reference. 2012. Vol. 1. P. 81-132.
- [2] Collins K.D., Neilson G.W., Enderby J.E. Ions in water: Characterizing the forces that control chemical processes and biological structure // Biophys. Chem. 2007. № 128. P. 95–104.
- [3] Lezov A.A., Rogozhin V.B., Donets A.V., Lezova A.A., Gubarev A.S., Vlasov P.S., Samokhvalova S.A., Polushina G.E., Polushin S.G., Tsvetkov N.V. // Journal of Molecular Liquids. 2022. Vol. 347, № 118369. P. 1-12.

УДК 544.18

## КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ОЛИГОМЕРОВ ЛАКТИДА

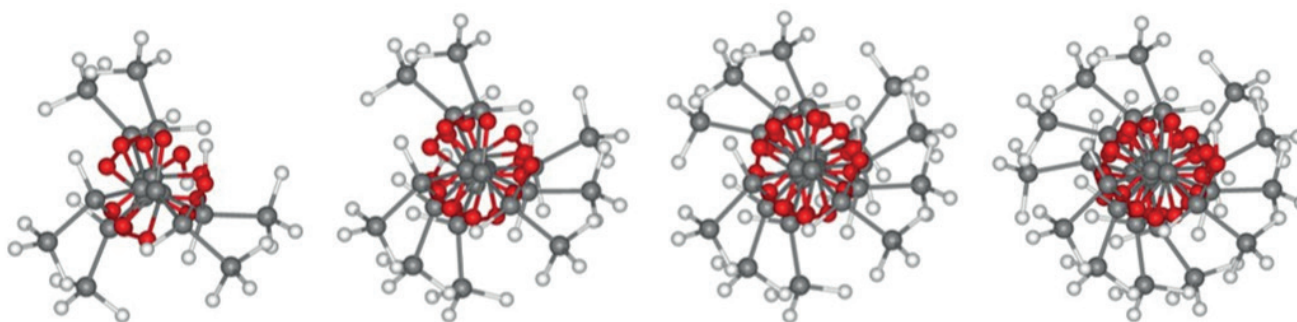
**Любимовский С.О.<sup>1</sup>, Васимов Д.Д.<sup>1</sup>, Седуш Н.Г.<sup>2</sup>, Новиков В.С.<sup>1</sup>, Устынюк Л.Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 38*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Россия, Москва, Профсоюзная ул., д. 70*

<sup>3</sup> *Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3  
E-mail: liubimovskii@kapella.gpi.ru*

В данной работе метод функционала плотности используется для анализа структуры, конформационного состава и спектров комбинационного рассеяния (КР) двух видов олигомеров лактида: 1) олигомеров L-лактида в конформации спирали  $10_3$ , которые являются моделью наиболее устойчивой кристаллической  $\alpha$ -формы поли(L-лактида) (L-ПЛА) с орторомбической решёткой; 2) олигомеров лактида с различным содержанием L- и D-звеньев, которые являются моделью статистических сополимеров L-лактида и D-лактида.



**Рисунок 1.** Оптимизированные структуры олигомеров L-лактида (6, 8, 10 и 12 мономерных звеньев L-молочной кислоты) в конформации спирали  $10_3$  («Природа», OLYP/4z).

Структуры олигомеров L-лактида различной длины в конформации спирали  $10_3$  показаны на рисунке 1. С увеличением количества мономерных звеньев соответствие между рассчитанными спектрами КР олигомеров и экспериментальным спектром высококристаллического L-ПЛА улучшается. Средняя разница между частотами наиболее интенсивных линий в рассчитанном спектре декамера L-лактида и экспериментальном спектре L-ПЛА составляет  $12 \text{ см}^{-1}$  для диапазона  $80\text{--}1950 \text{ см}^{-1}$  и  $82 \text{ см}^{-1}$  для диапазона  $2500\text{--}3300 \text{ см}^{-1}$ .

### Благодарность

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-22-00347, <https://rscf.ru/project/23-22-00347/>. Авторы выражают благодарность Межведомственному суперкомпьютерному центру РАН за предоставление вычислительных ресурсов.

УДК 543.424.2

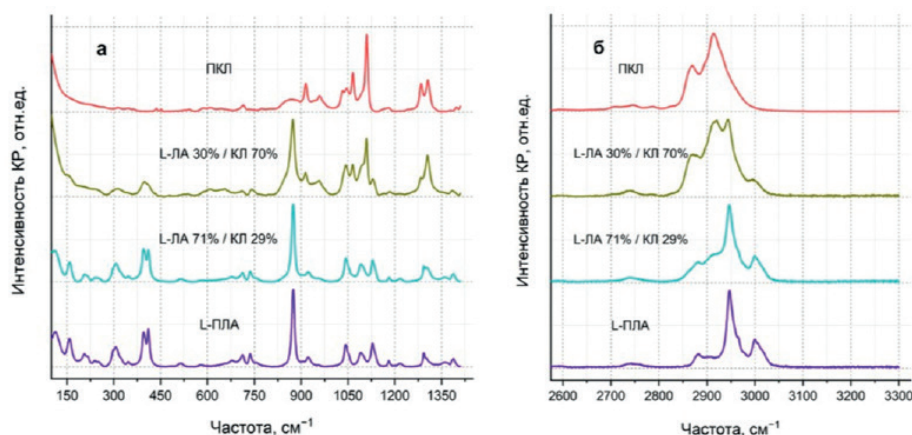
## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(L-ЛАКТИДА) МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

**Любимовский С.О.<sup>1</sup>, Анохин Е.В.<sup>2</sup>, Демина В.А.<sup>2</sup>, Бакиров А.В.<sup>2</sup>, Седуш Н.Г.<sup>2</sup>, Новиков В.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 38*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Россия, Москва, Профсоюзная ул., д. 70  
E-mail: liubimovskii@kapella.gpi.ru*

Биоразлагаемые материалы на основе поли(L-лактида) (L-ПЛА) имеют большой потенциал для производства медицинских изделий и экологически безопасных потребительских товаров. Целью работы является разработка методов спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) для количественного анализа структуры материалов на основе L-ПЛА, в том числе сополимеров, смесей и композитов.



**Рисунок 1.** Спектры КР образцов L-ПЛА, ПКЛ и сополимеров L-ЛА и КЛ: а) в диапазоне частот 100–1410 см<sup>-1</sup>; б) в диапазоне частот 2575–3300 см<sup>-1</sup>.

Как пример, рисунок 1 демонстрирует спектры КР L-ПЛА, поли(ε-капролактона) (ПКЛ) и сополимеров L-лактида (L-ЛА) и ε-капролактона (КЛ). Показано, что анализ спектров КР сополимеров L-ЛА и КЛ в области до 1000 см<sup>-1</sup> (рисунок 1а) позволяет оценить степень кристалличности областей L-ПЛА, а анализ области около 3000 см<sup>-1</sup> (рисунок 1б) — рассчитать содержания сомономеров в сополимере.

### Благодарность

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-22-00347, <https://rscf.ru/project/23-22-00347/>.

УДК 612.396.11:54.145

## ГЕЛИ НА ОСНОВЕ ГЕЛЛАНА: ВЛИЯНИЕ ПРИСУТСТВИЯ ОДНОВАЛЕНТНЫХ ИОНОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

**Микушева Н.Г., Зорин И.М., Фетин П.А., Перевязко И.Ю., Цветков Н.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9  
E-mail: n.mikusheva@spbu.ru*

Геллан (геллановая камедь) – природный анионный полисахарид, состоящих из тетрасахаридных повторяющихся звеньев, содержащих 1,3-β-D-глюкозу, 1,4-β-D-глюкуроновую кислоту, 1,4-β-D-глюкозу и 1,4-α-L-рамнозу. Некоторые молекулы глюкуроновой кислоты могут присутствовать в виде солей металлов (включая Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup>), которые содержатся в питательных средах, необходимых для роста микроорганизмов, и/или вводятся во время постферментационной обработки. Также геллан может быть представлен в двух вариантах – низкоацелированном и высокоацелированном. Геллан активно применяется в качестве желирующего агента в пищевой промышленности и сельском хозяйстве и, благодаря своей биосовместимости и невысокой стоимости, является хорошим кандидатом для широкого использования в биомедицинских технологиях и фармацевтике.

Известно, что и двухвалентные, и одновалентные ионы (катионы) металлов оказывают большое влияние на гелеобразующие свойства водных растворов геллана. При этом механизм образования гелей в присутствии одновалентных ионов является предметом дискуссий. Также известно, что достаточно жесткие гели образуются при охлаждении после нагрева до высоких температур, температура нагрева зависит от степени ацелирования. В настоящей работе отмечено образование геля при «физиологической» температуре, что может заметно расширить диапазон возможных применений.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00187 (<https://rscf.ru/project/22-13-00187/>).

Авторы благодарны Научному парку СПбГУ за техническое содействие: РЦ «Магнитно-резонансные методы исследования», РЦ «Методы анализа состава вещества», РЦ «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники».

УДК 539.199; 544.777

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В СМЕСЯХ ГЕЛЛАН-ПУЛЛУЛАН

**Михайлова М.Е.**, Лезов А.А., Лезова А.А., Рогожин В.Б., Донец А.В., Микушева Н.Г.,  
Перевязко И.Ю., Цветков Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Университетская наб. 7/9  
E-mail: m.e.mikhailova@spbu.ru*

Анионный внеклеточный бактериальный линейный полисахарид геллан известен благодаря своей способности к образованию гелей в присутствии различных солей [1], Это свойство, уже найдя свое применение и в пищевой, и в медицинской прикладных областях, все еще подвергается пристальному вниманию исследователей. Одним из вариантов улучшения механической прочности геля, варьирования температуры гелеобразования и диапазона его существования, является смешение геллана с различными синтетическими или биологическими полимерами [2]. Этот подход также способствует расширению возможных областей применения геллана.

Мы представляем результаты комплексного исследования водных растворов и гелей смесей геллан/пуллулан. Пуллулан – нейтральный, неиммуногенный, нетоксичный, неканцерогенный полисахарид. Это делает его хорошим кандидатом для смешения с целью моделирования свойств.

В работе методами динамического и статического рассеяния света, реологии и ЯМР исследуется влияние концентраций компонент системы геллан/пуллулан NaCl CaCl<sub>2</sub> на свойства получаемых гелей. Установлено, что при достижении такой концентрации ионов Ca<sup>+</sup>, при которой на один ион приходится два мономерных звена геллана, свойства геля практически перестают зависеть от присутствия пуллулана в системе. При более низких концентрациях CaCl<sub>2</sub> пуллулан, встраиваясь в структуру геля, увеличивает его упругие свойства (значение величины критической деформации возрастает). Время восстановления геля после достижения критической деформации возрастает при увеличении концентрации CaCl<sub>2</sub> в системе.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 22-13-00187, <https://rscf.ru/project/22-13-00187>)

### **Ссылки**

[1] Edwin R. Morris Gelation of gellan - A review/ Edwin R. Morris , Katsuyoshi Nishinari , Marguerite Rinaudo// Food Hydrocolloids. -2012. Vol. 28. –P. 373-411.

[2] Khalid Mahmood Zia Recent trends on gellan gum blends with natural and synthetic polymers: A review/ Khalid Mahmood Zia, Shazia Tabasum, Muhammad Faris Khan, Nadia Akram, Naheed Akhter, Aqdas Noreen, Mohammad Zuber// International Journal of Biological Macromolecules. -2018. Vol. 109. –P. 1068–1087.



УДК 544.777

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СШИВКИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ГЕЛЕЙ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

**Молчанов В.С., Глухова С.А., Филиппова О.Е.**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1  
E-mail: molchan@polly.phys.msu.ru*

3D-печать полимерными гелями - одна из быстро развивающихся новейших технологий, которая может быть использована для множества применений, например, для изготовления сложных структур, имитирующих органы и функциональные ткани. К сожалению, объекты, напечатанные на 3D-принтере, изготовленные из обычных гидрогелей, отличаются довольно низкой механической прочностью. Кроме того, недостаточная вязкоупругость может ухудшить разрешение 3D-печати в результате растекания материала.

Были получены нанокompозитные альгинатные гидрогели на основе сетки перколированных нанотрубок галлуазита, встроенных в альгинатную сетку, сшитую ионами кальция. Показано, что гель течет при напряжениях сдвига выше предела текучести, что сопровождается снижением вязкости на 4-5 порядков. Сшивки альгината ионами кальция улучшают течение при сдвиге и ускоряют восстановление вязкости в состоянии покоя, так что система может восстановить 96% вязкости всего за 18 с. Увеличение количества сшивок также повышает модуль упругости нанокompозитной системы до 2 кПа. По данным SAXS было показано, что при сшивании образуются зоны соединения, состоящие из фрагментов двух выровненных по бокам полимерных цепей, которые должны дополнительно укреплять гидрогель. В то же время сшивание полимерной сетки лишь незначительно влияет на предел текучести, который, по-видимому, в основном определяется жесткой перколяционной сеткой из нанотрубок. Эти свойства делают композитные гидрогели перспективными для 3D-печати, в частности, для биомедицинских целей, учитывая природное происхождение, низкую токсичность и хорошую биосовместимость обоих компонентов.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-13-00177)

УДК 541.64:539.199

## МД КОМПЛЕКСОВ KRH/KRHr ДЕНДРИМЕРОВ И ЭПИТАЛОНА

Михтанюк С.Е.<sup>1</sup>, Безродный В.В.<sup>2</sup>, Шавыкин О.В.<sup>3</sup>,  
Фатуллаев Е.И.<sup>1</sup>, Шевелева Н.Н.<sup>2</sup>, Маркелов Д.А.<sup>2</sup>, Неелов И.М.<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Кронверкский пр. д.49

<sup>2</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7/9

<sup>3</sup> ТвГУ, Тверь, Садовый пер. д.35

<sup>4</sup> Институт высокомолекулярных соединений, Санкт-Петербург, Большой пр. д.31  
E-mail: i.neelov@mail.ru

Положительно заряженные дендримеры широко используются для переноса отрицательно заряженных молекул ДНК и РНК и отрицательно заряженных лекарственных препаратов. Основной задачей данной работы является сравнительное моделирование образования комплексов пептидными дендримерами второго поколения (имеющими повторяющийся в каждом внутреннем поколении элемент, KRH с зарядом +1 или KRHr с зарядом +2 и общий заряд +30 или +44, соответственно) с 16 молекулами тетрапептида эпителион (каждый из которых имеет заряд -2 и общий заряд -32) в воде. Мы получили, что тетрапептиды проникают в оба рассмотренных дендримера и образуют с ними устойчивые комплексы. При этом среднее число тетрапептидов в комплексе и степень их проникновения внутрь дендримера зависят от заряда дендримера. Число водородных связей и бинарная функция распределения противоположно заряженных групп дендримера и пептидов также различается. В то же время оба рассмотренных пептидных дендримера могут быть использованы в качестве наноконтейнеров для доставки противоположно заряженных пептидов эпителион или других сходных с ними пептидов.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 23-13-00144.

УДК 544.23

## НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ПОЛИЭФИРОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Нечаев И.И.<sup>1</sup>, Кузнецов П.М.<sup>1</sup>, Ковалева А.В.<sup>1</sup>, Рахманинов Ю.С.<sup>1</sup>, Герасимов А.М.<sup>1</sup>, Гомзяк В.И.<sup>1,2</sup>, Курпединов К.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, проспект Вернадского, 86*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, площадь Академика Курчатова, 1*

<sup>3</sup> *Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, Мытищи, улица Семашко, 2  
E-mail: nech.ya@yandex.ru*

В настоящее время в медицине особую актуальность имеет создание препаратов, обеспечивающих эффективную диагностику множества патологических процессов в организме человека. Однако препаративные формы большинства диагностических агентов имеют ряд побочных эффектов, вызванных токсическим воздействием на здоровые ткани организма из-за неконтролируемого дозирования при длительном воздействии. Основной целью представленной работы является получение полимерных наночастиц, нагруженных йодированными этиловыми эфирами жирных кислот, синтезированных из растительных масел, что позволит открыть новые возможности для улучшения терапевтических стратегий по таргетированному воздействию на специфические клетки опухолей [1,2]. Данные эфиры представляют собой масляное рентгеноконтрастное средство, которое имеет широкое применение для внутрисосудистого введения с целью диагностики и лечения первичных и метастатических опухолей различных органов посредством масляной химиоэмболизации. На первом этапе исследования был разработан метод синтеза йодированных эфиров из растительных масел, содержащих преимущественно глицериды линолевой и олеиновой кислот. Определение жирнокислотного состава исходного сырья было изучено методом капиллярной газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием путем анализа полученных летучих этиловых эфиров жирных кислот. Определение структуры синтезированных йодированных этиловых эфиров жирных кислот проведено с применением методов ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии с электрораспылительной ионизацией.

### Ссылки

[1] Sedush, N. G. Nanoformulations of Drugs Based on Biodegradable Lactide Copolymers with Various Molecular Structures and Architectures / N. G. Sedush, Y. A. Kadina, E. V. Razuvaeva [et al.] // Nanobiotechnology Reports. – 2021. – Vol. 16, No. 4. – P. 421-438.

[2] Naorungroj T., Naksanguan T., Chinthammitr Y. Pulmonary lipiodol embolism after transcatheter arterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: a case report and literature review / T. Naorungroj, T. Naksanguan, Y. Chinthammitr // Journal of The Medical Association of Thailand. – 2013. February: 96, Supplement 2. – P. 270-275.

УДК 541.64:547.538.141

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПАВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ЛАКТИДА

**Нечаев И.И.<sup>1</sup>, Пронюшкин П.И.<sup>1</sup>, Овсянников А.Д.<sup>1</sup>, Рыжиков К.А.<sup>1</sup>, Гомзяк В.И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова, МИРЭА –  
Российский технологический университет, Москва, проспект Вернадского, 86*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,*

*Москва, площадь Академика Курчатова, 1*

*E-mail: nech.ya@yandex.ru*

Одной из современных тенденций химии ВМС является повышенное внимание к исследованию макромолекул сложной архитектуры: дендримерам, многолучевым звездам, полимерным щеткам, сверхразветвленным полимерам, характеризующимся высокой плотностью мономерных звеньев на единицу объема. Такие свойства делают СРП уникальными материалами и обеспечивают широкую область их применения, включая направленную доставку лекарственных веществ. Еще одной перспективной областью применения макромолекул сложной архитектуры является использование их в качестве экологически безопасных поверхностно-активных веществ, например, в радикальной полимеризации виниловых мономеров, с целью получения полимерных суспензий для биомедицинского применения [1–2].

Основной целью представленной работы является исследование возможности использования сверхразветвленных биоразлагаемых производных полиэфиров в качестве стабилизаторов (ПАВ) при радикальной полимеризации виниловых мономеров, а также получение устойчивых полимерных суспензий в присутствии этих соединений. В работе представлены результаты исследования полимеризации виниловых мономеров в эмульсиях, стабилизированных производными полиэфирполиола Boltorn. Изучено влияние условий синтеза на кинетические закономерности полимеризации, результаты проанализированы в сравнении с данными, полученными для традиционно используемых низкомолекулярных ПАВ.

### **Благодарность**

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования РТУ МИРЭА (договор № 075-15-2021-689 от 01.09.2021).

### **Ссылки**

[1] Gomzyak, V. I. Linear and Branched Lactide Polymers for Targeted Drug Delivery Systems / V. I. Gomzyak, N. G. Sedush, A. A. Puchkov [et al.] // Journal of Polymer Science, Series B. – 2021. – Vol. 63, № 3. – P. 257-271.

[2] Zhu, Y. Preparation of monodisperse polystyrene nanoparticles with tunable sizes based on soap-free emulsion polymerization technology / Y. Zhu, G. Wu // Colloid and Polymer Science. – 2021. – Vol. 299, № 1. – P. 73-79.

УДК577.323.23

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ ДНК С ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА И КАТЕХИНА

**Никитин Д.А., Касьяненко Н.А.**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, д. 7-9  
St075754@student.spbu.ru*

Вещества растительного происхождения стали активно использоваться при разработке новых медицинских препаратов. Не только сведение к минимуму токсичности медикаментов, но и снижение воздействия лекарств и их метаболитов на окружающую среду определяют выбор и испытание различных соединений этого класса. Высокую биологическую активность, в том числе и противоопухолевое действие, проявляют катехины, относящиеся к растительным полифенолам, [1,2]. Разработка комплексных терапевтических средств на основе катехинов с различными добавками, способными усилить их действие, представляет значительный интерес. Так как в основе развития злокачественных новообразований лежит изменение ДНК, именно эта макромолекула является основной мишенью действия большинства современных противоопухолевых препаратов: их связывание с ДНК *in vivo* предотвращает ее репликацию при активном делении раковых клеток. Важным шагом в испытании противоопухолевой активности новых соединений и комплексов является изучение их действия в модельных системах – водно-солевых растворах ДНК. Мы используем катехин в сочетании с ионами трехвалентного железа и изучаем конформацию молекулы ДНК при взаимодействии с этими соединениями в растворе и с их комплексами методами спектрофотометрии, вискозиметрии, динамического рассеяния света и атомно-силовой микроскопии.

Показано, что при добавлении в раствор ДНК ионов железа происходит уменьшение размеров молекулярного клубка ДНК. Катехин в растворах малой ионной силы с молекулой ДНК не взаимодействует, однако с ионами железа приводит к усилению компактизации макромолекулы. При этом в растворах катехина с ионами железа без ДНК наблюдалось формирование дискретных частиц с размерами  $(40\pm 10)$  нм и  $(200\pm 50)$  нм. Порядок добавления компонентов в раствор влиял на результат взаимодействия. Спектральные свойства катехина в присутствии ионов железа не изменялись, в то время как изменение спектров поглощения ДНК в растворах с ионами железа указывало на их взаимодействие. Совокупность экспериментальных данных свидетельствовала об образовании комплексов ДНК-(+)-катехин-железо (III).

### Ссылки

- [1] Cadoná, F. C., Dantas, R. F., de Mello, G. H., & Silva-Jr, F. P. Natural products targeting into cancer hallmarks: An update on caffeine, theobromine, and (+)-catechin. // *Critical reviews in food science and nutrition*, 2022. – Vol. 62, №26. – P. 7222–7241.
- [2] Farhan, M., Rizvi, A., Ahmad, A., Aatif, M., Alam, M. W., & Hadi, S. M. Structure of Some Green Tea Catechins and the Availability of Intracellular Copper Influence Their Ability to Cause Selective Oxidative DNA Damage in Malignant Cells. // *Biomedicines*. – 2022. – Vol. 10, № 3. – P. 664.

УДК 541.64: 544.032

## ОСОБЕННОСТИ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

**Попова А.А.**<sup>1,2</sup>, Тимашев П.С.<sup>1,2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>, Голубева Е.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Ленинские горы 1, с. 3*

<sup>2</sup> *Институт регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова  
Минздрава России, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, с. 2  
E-mail: popova\_a\_a\_3@staff.sechenov.ru*

Способность поли-N-алкилакриламидов к обратимому понижению растворимости в водных средах с ростом температуры (термочувствительность) определяет широкий спектр их биомедицинских применений (тканевая инженерия, доставка лекарств). Однако наличие в полимерном материале примесей мономеров и органических растворителей повышает его цитотоксичность. Замена органического растворителя на сверхкритический диоксид углерода (скCO<sub>2</sub>) в качестве среды для синтеза не только позволяет снизить долю органических примесей и упрощает стадии выделения продукта, но и позволяет влиять на характеристики получаемых полимеров (M<sub>w</sub>/M<sub>n</sub> и НКТР) за счет варьирования параметров системы (p, T). Таким образом, актуальной задачей является выбор условий синтеза термочувствительных полимеров с настраиваемыми свойствами (НКТР) в скCO<sub>2</sub>.

В данной работе проведена классическая и контролируемая полимеризация N-изопропилакриламида (НИПАМ) с обратимой передачи цепи (ОПЦ) в скCO<sub>2</sub> в диапазоне условий T = 60-82 °C и p = 190-330 бар. В качестве ОПЦ агента использован несимметричный третиокарбонат с R – CH<sub>3</sub>CH(CH<sub>3</sub>)COOH и Z – n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>, в качестве инициатора – динитрил азобисизомасляной кислот (ДАК). Гравиметрическим методом определена растворимость реагентов (НИПАМ, ДАК) в скCO<sub>2</sub>. В соответствии с изотермами растворимости НИПАМ осадительная полимеризация проведена как в одно-, так и в двухфазном концентрационных режимах. Установлено влияние плотности растворителя на кинетику процесса, а также на положение третиокарбонатной группы в макромолекуле полимера. Определены НКТР полученных ПНИПАМ в водных растворах методом турбидиметрии и спектроскопии ЭПР в рамках методики спинового зонда.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24–23–00196)



УДК: 541.64:547.995.1

## МАТЕРИАЛЫ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ЕГО ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

**Попырина Т.Н., Демина Т.С., Акопова Т.А.**

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

Хитозан – природный аминополисахарид, обладающий широким спектром физико-химических и биологических свойств. Модификация его химической структуры путем прививки на полимер гидрофобных фрагментов расширяет спектр методов формования биомедицинских материалов на его основе, что, в свою очередь, позволяет получать большее количество форм и регулировать их свойства и структуру.

Цель работы заключалась в получении и исследовании материалов на основе хитозана и его гидрофобизированных производных.

В работе использовали образцы немодифицированного хитозана с разной молекулярной массой (80 - 350 кДа), а также ряд их гидрофобизированных производных с разной длиной привитой цепи, полученных механическим модифицированием в ИСПМ РАН [1,2].

Методом полива на подложку водорастворимых фракций полимеров с последующим испарением растворителя получены пленочные материалы пригодные для дальнейшего применения в качестве раневых повязок и клеточных матриц.

Методом электроформования получен микроволокнистый материал на основе гидрофобизированного производного полилактида с широким распределением волокон по размерам и шероховатой поверхностью с наличием на ней гидрофильных включений хитозана, пригодный для дальнейшего использования в качестве клеточного матрикса [2].

Методом испарения растворителя из эмульсии масло/вода с использованием образцов немодифицированного хитозана/производных в качестве эмульгатора в дисперсионной среде получены сферические микрочастицы из полилактида с развитой внутренней структурой и гомогенной морфологией поверхности, обогащенной гидрофильными природными фрагментами. Полученные микрочастицы имеют перспективы применения в качестве систем доставки лекарств, клеточных микроносителей, а также исходных компонентов для формирования 3D-структур путем аддитивных технологий.

### Ссылки

1. Demina T.S. Chitosan-g-oligo/poly lactide copolymer non-woven fibrous mats containing protein: from solid-state synthesis to electrospinning / T.S. Demina, A.S. Kuryanova, N.A. Aksenova, A.G. Shubnyy, T.N. Popyrina, Y.V. Sokovikov, E.V. Istranova, P.L. Ivanov, P.S. Timashev, T.A. Akopova // RSC Advances. – 2019. – V. 9. – P. 37652 - 37659.
2. Akopova T.A. Hydrophobic modification of chitosan via reactive solvent-free extrusion / T.A. Akopova, T.S. Demina, M.A. Khavpachev, T.N. Popyrina, A.V. Grachev, P.L. Ivanov, A.N. Zelenetskii // Polymers. – 2021. V.13. – P. 2807.

УДК 544.77:541.64

**БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНО-МЕЧЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА: ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VITRO*****Пучкова Ю.А.<sup>1,2</sup>, Седуш 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, ул. Профсоюзная, 70*<sup>2</sup> *НИЦ «Курчатовский институт», Москва, пл. Академика Курчатова, 1.  
E-mail: puchkova.yuliia@gmail.com*

Одним из перспективных подходов в области наномедицины для ранней диагностики, терапии и отслеживания динамики лечения онкологических заболеваний является создание мультифункциональных частиц-носителей. Большой интерес к получению таких систем доставки активных веществ на основе амфифильных сополимеров алифатических полиэфиров (полилактид, поликапролактон) с полиэтиленгликолем обусловлен их способностью к самоорганизации в наноразмерные частицы, биосовместимостью и отсутствию негативных эффектов при накоплении в организме. Для исследования влияния характеристик полимерных частиц на их внутриклеточное проникновение и биораспределение *in vivo*, в их состав должен быть включен флуоресцентный краситель, активируемый ближним ИК-светом (700-900 нм) и имеющим высокий квантовый выход [1].

В работе был синтезирован конъюгат блок-сополимера полиэтиленгликоль-*b*-полилактид (mPEG-P(D,L)LA) с цианиновым красителем Cyanine 5.5 в условиях этерификации по Штеглиху в растворе метилхлорида. Флуоресцентно-меченные частицы получали на основе смеси mPEG-P(D,L)LA и конъюгата методом наноосаждения. Проведено сравнение физико-химических характеристик, цитотоксической активности и эффективности накопления клетками флуоресцентно-меченных частиц с аналогами, не содержащих краситель. Показано, что добавление красителя не оказывает существенное влияние на процесс самоорганизации блок-сополимеров. Полученные частицы имеют сферическую форму, средний диаметр 25 нм и дзета-потенциал -10 мВ, а также являются биосовместимыми в широком диапазоне в отношении ряда опухолевых и нормальных клеточных линий. Установлено, что флуоресцентно-меченные частицы характеризуются быстрым проникновением через цитоплазматическую мембрану и эффективным накоплением клетками.

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госзадание FFSM-2022-0003).

**Ссылки**

[1] Bou, S. Fluorescent labeling of biocompatible block copolymers: synthetic strategies and applications in bioimaging / S. Bou, A. S. Klymchenko, M. Collot // Mater. Adv. – 2021. Vol. 2, № 10. – P. 3213-3233.

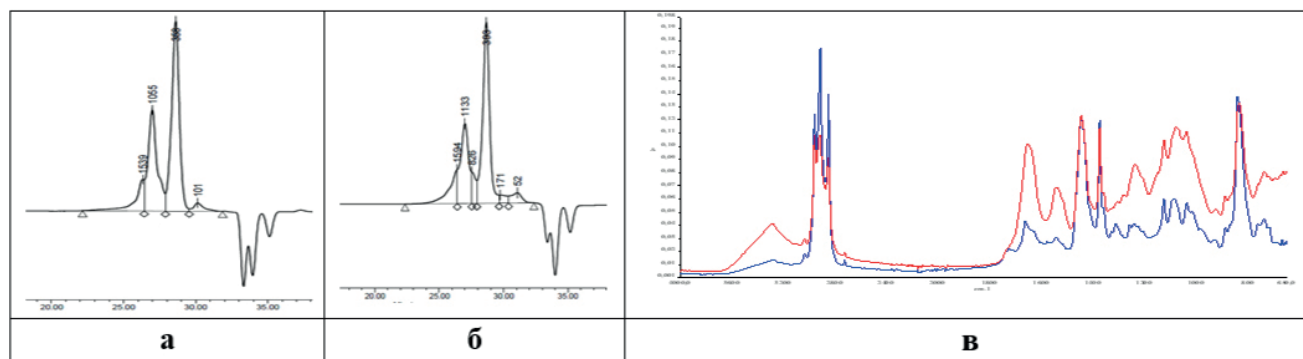
УДК 543.424:544.153:66.061.3:691.173

## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТУРАЛЬНЫХ КАУЧУКОВ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ИХ АЦЕТОНОВЫХ ЭКСТРАКТОВ

**Ригер Е.Н., Грозеску А.Ю., Агибалова Л.В., Маретина Е.Ю., Суханова Т.Е.**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. академика  
С.В. Лебедева», г. Санкт-Петербург, ул. Гансальская, д.1  
E-mail: catherine.riger@yandex.ru

Натуральные каучуки (НК) некоторых марок, таких как смокед-шит и светлый креп, разрешены органами здравоохранения для получения на их основе изделий медицинского назначения [1]. Эти каучуки, используются в резиновых смесях, как правило, в количествах от 30 до 80% (масс.), для придания резиновым изделиям (медицинским зондам, катетерам, мембранам, и др.) высокоэластичных и прочностных свойств. Целью работы является сравнительный анализ молекулярных и спектральных характеристик двух типов НК - смокед-шит (Таиланд) и SVR-10 (Вьетнам) и их высушенных ацетоновых экстрактов методами гель-проникающей хроматографии и ИК-спектроскопии. Хроматограммы экстрактов НК практически идентичны, они имеют одинаковое количество пиков: узкий интенсивный пик 358 Да, а также менее интенсивный пик 1055 Да с плечом 1539 Да, (SVR-10, рис.1а), интенсивный пик 393 Да и менее интенсивный пик 1133 Да с двумя плечами 1594 и 826 Да (смокед-шит, рис. 1б). ИК-исследования экстрактов показали, что наблюдаемые пики соответствуют стеариновой, олеиновой и линолевой кислотам. Напротив, в ИК-спектрах самих каучуков (рис. 1в) серии полос в диапазонах 3600-3100 (белки), 1740-1480 и 1380-900 см<sup>-1</sup> существенно различаются, то есть, в каучуке SVR-10 содержание белков значительно ниже, что объясняет улучшенный комплекс свойств этого НК.



**Рисунок 1.** Гель-хроматограммы высушенных экстрактов натуральных каучуков SVR-10 (а) и смокед-шит (б) и ИК-спектры каучуков SVR-10 (синий) и смокед-шит (красный) (в).

### Благодарность

Работа выполнена за счет внутренних средств ФГБУ «НИИСК».

### Ссылки

[1] Большой справочник резинщика. Ч. 2. Резины и резинотехнические изделия / Под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 648 с.

УДК 615.46; 544.032

## СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С МАССИВОМ МИКРОИГЛ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

**Ромашкин И.В.<sup>1,2</sup>**, Каримов Д.Н.<sup>1</sup>, Архарова Н.А.<sup>1</sup>, Хмеленин Д.Н.<sup>1</sup>, Громовых Т.И.<sup>1,2</sup>,  
Клечковская В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники  
НИЦ «Курчатовский институт», 119333, Москва, Ленинский пр., 59

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет», 107023, Москва, ул.  
Большая семёновская, 38  
E-mail: romashk.in@yandex.ru

В настоящее время в биомедицине разрабатываются новые средства для заживления ран на основе биополимеров. Раневая повязка должна быть нетоксична и неаллергенна, недорога в производстве, при этом иметь хорошие адгезивные свойства, обеспечивать воздухообмен и поддержание влажной среды в ране. Бактериальная целлюлоза (БЦ) благодаря сильной гидрофильности, гибкости, механической прочности, биосовместимости и трехмерной структуре, напоминающей внеклеточный матрикс, стала превосходным материалом для изготовления раневых покрытий и биокомпозитов [1, 2].

Одной из причин осложнения лечения ран является бактериальная инфекция. Включение в БЦ соединений с антимикробной активностью и разработка на ее основе системы контролируемой доставки позволит сделать лечение ран более эффективным.

В данной работе с помощью прессования бактериальной целлюлозы *Gluconacetobacter hansenii* GH-1/2008 были получены образцы с массивами микроигл с возможностью загрузки различных компонентов. Исследована структура полученных покрытий на основе БЦ методами оптической и сканирующей электронной микроскопии.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-29-00952.

### Ссылки

[1] Zheng L, Li S, Luo J, Wang X. Latest Advances on Bacterial Cellulose-Based Antibacterial Materials as Wound Dressings // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2020. – Т. 23. – № 8. – С. 593768.

[2] Скворцова З.Н., Громовых Т.И., Грачев В.С., Траскин В.Ю. Физико-химическая механика бактериальной целлюлозы // *Коллоидный журнал*. – Т. 81. – №4. – С. 441-452.

УДК 544.723

## СОРБЦИОННОЕ СВЯЗЫВАНИЕ ДВУХ ТЕКСТУРНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ГИДРОКСИАПАТИТА С [<sup>3</sup>H]ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТОЙ РАЗЛИЧНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ

**Северин А.В.,** Бадун Г.А., Зайцева Е.А., Ярышев В.Ю.

*Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Москва, 119991, Ленинские горы, д.1, стр. 3, ГСП-1.  
E-mail: severin@radio.chem.msu.ru*

Комплексы гидроксиапатита (ГАП) и гиалуроновой кислоты (ГК, в виде натриевой соли) широко используются в медицинской практике. Перспективно их применение и в ядерной медицине, когда полисахарид выступает в роли молекулы-связки с радионуклидом (например, в случае <sup>188</sup>Re) или другими компонентами радиофармпрепарата (РФП). Такие комплексы (ГАП-ГК) можно формировать сокристаллизационным или сорбционным способом. При сорбционном связывании важную роль в особенности протекания процесса может играть молекулярная масса полимера, а также текстурная организация сорбента. В данной работе мы использовали низко- и высокомолекулярные препараты ГК и ГАП в виде водной суспензии и порошка. Для контроля за содержанием ГК в растворе и в составе комплекса с помощью метода термической активации трития в молекулу полимера была введена радиоактивная метка. Данная методика позволяет получать препараты с удельной радиоактивностью 26-52 ГБк/г [1].

Кинетика сорбции ГК на ГАП оказалась диффузионно-контролируемым процессом. По нашим данным время достижения и величина максимальной сорбции уменьшались со снижением концентрации полимера и его молекулярной массы. Показано, что данный процесс может быть удовлетворительно описан в рамках модели псевдотортого порядка Лагергена. Были получены линейные изотермы связывания [<sup>3</sup>H]ГК с ГАП в диапазоне концентраций от 0.1 до 1 г/л. Коэффициент в уравнении Генри, описывающем изотерму адсорбции ГК, менялся от 73 г/л (ММ 2.37 МДа) до 27 г/л (ММ 0,1 МДа) при адсорбции на суспензии ГАП и от 52 г/л (ММ 2.37 МДа) до 32 г/л (ММ 0,1 МДа) при адсорбции на порошке ГАП. Было показано, что в результате контактного взаимодействия образуется прочный адсорбционный комплекс ГК-ГАП. Десорбция ГК в воду и физиологический раствор практически не происходила за 2 сут. Результаты работы показывают перспективность использования сорбционного способа создания прочного композита ГАП-ГК как основы для РФП, в том числе и для его последующего модифицирования путем введения дополнительных лекарственных средств.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Госзадания № 122012600116-4 «Получение и использование радионуклидов и меченных соединений для целей ядерной медицины, изучения биологически значимых процессов и взаимодействия живых организмов с ионизирующим излучением».

### Ссылки:

[1]. Синолиц А.В. Получение меченной тритием гиалуроновой кислоты методом термической активации трития / Синолиц А.В., Чернышева М.Г., Бадун Г.А. // Радиохимия. – 2021. – Т. 63, -№ 4, - С. 395-400.

УДК 544.777

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ЛАКТИДА И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Семкина А.С.<sup>1,2</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>2</sup>, Кузнецов Н.М.<sup>2</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
ул. Профсоюзная, 70, г. Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
пл. Академика Курчатова, д.1, г. Москва  
E-mail: anya.semkina.97@bk.ru*

Трехмерная биопечать – это современная технология, позволяющая создавать уникальные материалы для тканевой инженерии с индивидуальными формами и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Специально разработанная архитектура каркаса сохраняет диффузию малых молекул, что положительно влияет на структурную целостность и долгосрочную жизнеспособность клеток, а также обеспечивает их механическую поддержку. Используемые в технологии биочернила должны соответствовать определенным реологическим и механическим требованиям, а также обладать биосовместимостью, поэтому важной задачей остается разработка новых материалов для данного применения.

Термочувствительные гидрогели на основе сополимеров этиленгликоля и лактида являются перспективными в рассматриваемой области благодаря возможности регулирования температуры золь-гель перехода, механических свойств будущего каркаса, биосовместимости и резорбируемости [1].

Целью работы было изучение золь-гель перехода физических гидрогелей на основе амфифильных тройных блок-сополимеров полилактид-б-полиэтиленгликоль-б-полилактид (ПЛА-ПЭГ-ПЛА), как одного из основных параметров для возможности трехмерной биопечати. Были синтезированы блок-сополимеры с различными степенями полимеризации соответствующих блоков: ПЭГ – 104, D,L-лактид – 10, 18 и 25. Синтез проводили в растворе, используя две каталитические системы: безметалловый катализатор 1,8-Диазабицикло(5.4.0)ундец-7-ен (ДБУ) или октаноат олова ( $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ ). Значение индекса полидисперсности во всех случаях не превышало 1,3. Для изучения золь-гель перехода гидрогелей были проведены тесты по «переворачиванию виалов» и реологические испытания.

### **Благодарность:**

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госзадание FFSM-2022-0003).

### **Ссылки**

[1] Nguyen V.V.L., Pham M.A., Huynh D.P. The effects of temperature, feed ratio, and reaction time on the properties of copolymer PLA-PEG-PLA // VJSTE. – 2018. – Vol.61. – №1. – P.9-13.



УДК 543.442.3;547.1;547.564;547.821.2;546.683;678

## БИОСОВМЕСТИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ ГАЛЛИЯ КАК ИНИЦИАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ

**Серова В.А.<sup>1,2</sup>, Лыков А.В.<sup>1,2</sup>, Манкаев Б.Н.<sup>1,2</sup>, Карлов С.С.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Химический факультет. Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук. Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 47.  
E-mail:valeriia.serova@chemistry.msu.ru*

В последнее время были достигнуты большие успехи в области синтеза, производства и всестороннего изучения биоразлагаемых полимеров. Особое положение среди них занимают полимеры на основе циклических сложных эфиров, например, полилактид, полигликолид, поликапролактон. Такие полимеры находят широкое применение для производства штифтов, шовного и упаковочного материала. [1]

Наиболее подходящим способом синтеза таких полимеров является полимеризация с раскрытием цикла (ROP), для проведения которой необходимо присутствие комплексов металлов. В промышленности в настоящее время в основном используется 2-этилгексаноат олова ( $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ ). Однако данный инициатор относительно малоактивен и токсичен. Следовательно, поиск новых каталитических систем для ROP остается весьма актуальной задачей. На данный момент особый интерес представляют разнообразные производные галлия на основе лигандов различных типов. Это связано с тем, что полимеры, полученные при использовании галлия в качестве инициатора ROP, не требуют дополнительной очистки от следов инициатора в виду биосовместимости галлия. [2] Существенное влияние на активность инициатора в процессе полимеризации оказывает координационный полиэдр атома металла. Варьирование стерического объема заместителей в непосредственной близости к атому металла позволяет обеспечить удобную для подхода мономера к металлоцентру геометрию.

В данной работе был осуществлен синтез новых комплексов галлия на основе пиридин(бис)фенолов и тестирование их в качестве инициаторов полимеризации  $\epsilon$ -капролактона и *rac*-лактида, а также в сополимеризации данных мономеров.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 20-13-00391).

### Ссылки

[1] Asghari, F.; Samiei, M.; et. all. Biodegradable and biocompatible polymers for tissue engineering application: a review // Artif. Cells, Nanomed. Biotechnol. – 2017. Vol. 45, №2. – P. 185–192.

[2] White, S.J.O. Exposure Potential and Health Impacts of Indium and Gallium, Metals Critical to Emerging Electronics and Energy Technologies / White, S.J.O.; Shine, J.P. // Curr. Environ. Health Rep. – 2016. Vol. 3, № 4. – P. 459-467.

УДК 543.429.22: 543.422.3-74

## МИКРОСТРУКТУРА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПНИПАМ-АЛЬБУМИН: ПРИМЕНЕНИЕ ЭПР И ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Сименидо Г.А., Зубанова Е.М., Ле-Дейген И.М., Скуредина А.А.

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, г. Москва, Ленинские Горы, 1-3  
E-mail: simenido@yandex.ru*

Поли(Н-изопропилакриламид) (ПНИПАМ) является представителем класса термочувствительных полимеров, претерпевающих нелинейные изменения физико-химических свойств в растворах в ответ на изменение температуры за счет процесса коллапсирования полимерных цепей. Методы спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и инфракрасной (ИК-) спектроскопии позволяют «наблюдать» за процессом коллапса на микроуровне. В случае спектроскопии ЭПР в рамках методики спинового зонда молекулы зонда могут захватываться образующимися в растворе полимера неоднородностями, что позволяет определять их микрополярность и микродинамику. Метод спиновой метки, ковалентно связанной с полимерной цепью, позволяет определять подвижность коллапсирующей полимерной цепи. Метод ИК-спектроскопии даёт информацию о вкладе водородных связей в процесс коллапса, что позволяет оценивать изменение гидратации полимерных цепей в ходе коллапса.

Процесс гидратации/дегидратации полимерных цепей в ходе коллапса определяет биомедицинское применение термочувствительных полимеров. Белки биологической среды могут также влиять на процесс коллапса цепей ПНИПАМ. Целью данной работы стало установление влияния белков на примере бычьего сывороточного альбумина (БСА) на температурный интервал коллапса полимерных цепей, микроструктуру и микродинамику неоднородностей в водных растворах ПНИПАМ. В работе с использованием описанных выше подходов было показано, что процесс дегидратации полимерных цепей продолжается выше НКТР (32°C), что проявляется в увеличении доли внутримолекулярных водородных связей вплоть до 37°C. С использованием спин-меченого ПНИПАМ показано, что БСА способствует коллапсированию полимерных цепей в температурном интервале 33-35 °С, но не влияет на подвижность полимерных цепей ниже НКТР и структуру ядра глобулы выше НКТР. С использованием нитроксильного радикала ТЕМПО в качестве спинового зонда было показано, что добавление БСА к раствору ПНИПАМ приводит к увеличению доли молекул зонда, находящихся в полимерно-белковых неоднородностях, по сравнению с раствором без белка. Методом ИК-спектроскопии в режиме нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) оценено влияние БСА на степень гидратации полимерных цепей путем анализа полосы амид I.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-73-00062).

УДК 535.36: 541.64:544.032

## СТРУКТУРНО-КОНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК НА ОСНОВЕ ОЛИГООКСИАЛКИЛЕНОВЫХ МОНОМЕРОВ

**Симонова М.А.<sup>1</sup>, Садков Д.А.<sup>2</sup>, Каморин Д.М.<sup>3</sup>, Ромашева М.М.<sup>1</sup>, Филиппов А.П.<sup>1</sup>, Казанцев О.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт» Институт Высокомолекулярных соединений РАН,  
г. Санкт-Петербург, Большой пр., д.31

<sup>2</sup> Высшая школа технологии и энергетики,  
г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4

<sup>3</sup> Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
E-mail: mariasimonova1983@mail.ru

Использование термо- и рН-чувствительных полимеров как оболочки для полимерных наночастиц является одним из развивающихся направлений. В настоящее время привитые полимерные щетки с нижней критической температурой растворения (НКТС) -перспективными системами для потенциальных применений. Образцы полимеров на основе мономеров основе метокси[олиго(пропиленгликоль)<sub>8</sub>-блок-олиго(этиленгликоль)<sub>8</sub>]метакрилата и N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида в разбавленных растворах синтезированы методом прививки «через». Этот метод позволяет получать полимеры с низким значением полидисперсности.

Цель работы - исследование влияния содержания звеньев N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида (от 5 до 20 процентов) на молекулярно-массовые, структурно-конформационные, гидродинамические характеристики и термочувствительные свойства сополимеров в разбавленных растворах. 1. Установлено что, термо- и рН-чувствительные полимерные щетки на основе метокси[олиго(пропиленгликоль)<sub>8</sub>-блок-олиго(этиленгликоль)<sub>8</sub>] метакрилата с контролируемым содержанием N-[3-(диметиламино)пропил] метакриламида (от 0 до 20 %) могут быть синтезированы способом «прививка через». Индекс полидисперсности  $M_w/M_n$  в среднем 1.3. 2. Методами статического и динамического светорассеяния и вискозиметрии выявлено влияние природы растворителя на поведение сополимеров: молекулярно-дисперсные растворы получены в ацетонитриле и ДМФА. В воде образуются мицеллоподобные агрегаты. 3. В первом приближении макромолекулы полимерных щеток в органических растворителях можно моделировать эллипсоидом вытянутого вращения или сфероцилиндром. 4. Молекулярные щетки продемонстрировали термо- и рН-чувствительность в водных растворах. 5. Показано, что при близких значениях молекулярной массы и близких значениях рН увеличение содержания звеньев N-[3-(диметиламино)пропил]метакриламида в основной цепи приводит к росту температур фазового разделения.

УДК 53.091

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ГИДРОКСИАПАТИТА В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ КЛЕТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Колбе К.А.<sup>1</sup>, Смирнова Н.В.<sup>1</sup>, Кодолова-Чухонцева В.В.<sup>1</sup>, Юдин В.Е.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений РАН,  
Санкт-Петербург 199004, В. О. Большой пр. 31*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург 195251, ул. Политехническая, д. 29  
E-mail: nvsmirnoff@yandex.ru*

Изменения в механической среде, варьирующиеся от жесткости внеклеточного матрикса до физического стресса (растяжение, сжатие и сдвиг), являются критическими сигналами окружающей среды, которые влияют на фенотипическую пластичность, стабильность и механическую память клеток. Показано, что при заживлении ран механическое напряжение является одним из основных триггеров гипертрофии рубцовой ткани и препятствует полноценной регенерации. Превентивные терапевтические подходы, такие как использование биоактивных раневых покрытий, тейпирующих лент, биомедицинских устройств, шовных нитей, регулирующих механическую среду раны, позволяет предотвратить или уменьшить гипертрофию рубцовой ткани и стимулировать регенеративные процессы. Биосовместимые и биоактивные полимеры и композиты на их основе, реагирующие на физические стимулы и опосредующие механическую стимуляцию, представляют собой класс материалов, которые обладают значительным потенциалом в качестве идеальной экспериментальной платформы для разработки матриц, передающих изменяющихся пространственно-временные сигналы клеткам. В данном исследовании были синтезированы композитные пленки на основе 4 % водных растворов хитозана (Biolog Herpe GmbH, Германия; молекулярная масса 164 кДа; степень деацетилирования 92%). В качестве наполнителя вводили 0.05, 0.5, и 1 % анизотропных частиц гидроксиапатита (ГА), продольный размер которых составляет 70-100 нм, а поперечный 7-9 нм. Введение наночастиц ГА до 0,5 % приводит к повышению прочности до 125 МПа и, что особенно важно, удлинению при разрыве композиционных пленок до 31%. SEM показано хорошее диспергирование наполнителя в полимере. При проведении МТТ теста с использованием культуры дермальных фибробластов человека установлено, что данные образцы нетоксичны, биосовместимы. При помощи камеры-биореактора LigaGen в физиологических условиях (в жидкой среде, нейтральном рН и 37°C) были проведены динамические механические испытания образцов материалов. Полученные данные свидетельствуют, что все образцы имеют высокое удлинение при разрыве (90%). Образцы 0.05 % и 0.5 % ГА более устойчивы во времени, у них наилучшая сопротивляемость к растяжению и провисанию, поэтому их можно выбрать для биомедицинского применения. Полученные образцы будут использованы для биомеханических исследований *in vitro* и *in vivo* для разработки терапевтических стратегий стимуляции регенерации и ограничения гипертрофии рубцовой ткани при лечении ран.

УДК: 66.095.26

## ИЗУЧЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОГО РАСПАДА МАГНИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ АЛЬГИНОВОЙ КИСЛОТЫ

**Спиридонов В.В.<sup>1</sup>, Лукманова А.Р.<sup>2</sup>, Антонова Ю.А.<sup>1</sup>, Маркова А.А.<sup>3</sup>,  
Поздышев Д.В.<sup>4</sup>, Ярославов А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет,  
Ленинские Горы 1-3, 119991, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах,  
Ленинские Горы 1-73, 119991, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, Москва, ул. Косыгина, д. 4, 119334  
Москва, Россия*

<sup>4</sup> *НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ, Ленинские горы, 1-40,  
119992, Москва, Россия*

*E-mail: vasya\_spiridonov@mail.ru*

Полимерные микрогели, функционализированные магнитными наночастицами оксида железа, вызывают повышенный интерес, поскольку находят применение в качестве контрастирующих агентов в МРТ исследованиях, препаратов для гипертермической обработки патологических очагов в организме, магнитной составляющей композиций для целенаправленной доставки лекарств. Микрогели, содержащие наночастицы маггемита, занимают особое место, так как характеризуются приемлемой для биомедицинских приложений токсичностью, демонстрируя высокую магнитную восприимчивость. Природный полисахарид альгинат натрия содержит анионные группы и является нетоксичным гидрофильным полиэлектролитом, и поэтому представляет собой перспективный агент для стабилизации магнитных наночастиц, а также эффективную матрицу для иммобилизации, транспорта и контролируемого высвобождения большого количества активных компонентов без рассеивания как неорганических магнитных наночастиц, так и биологически-активных компонент по организму человека. Предложен способ синтеза магнитного микрогеля на основе природного полисахарида альгината натрия и наночастиц маггемита, позволяющий получить водосовместимые суспензии с содержанием магнитной фазы свыше 35 вес.%. Показано, что содержание наночастиц в образцах регулируется соотношением исходных реагентов. При растворении в воде микрогели формируют коллоидные дисперсии со средним гидродинамическим диаметром 160–230 нм и отрицательно заряженной поверхностью. Устойчивость к агрегации зависит от количества наночастиц, включённых в полимерную матрицу.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-23-00156).

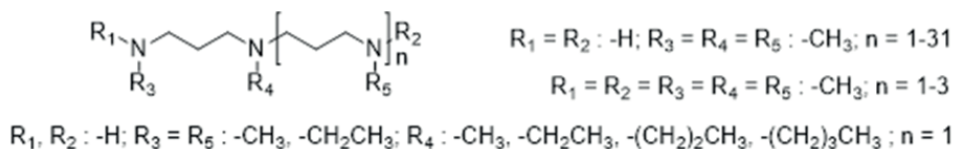
УДК 544.3(53.3+62):[678.744.3(22+32)+544.364:678.7-13]

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КИСЛОТ И ПОЛИАМФОЛИТОВ С ПОЛИАМИНАМИ

**Судаков М.С., Пальшин В.А., Зелинский С.Н., Анненков В.В., Даниловцева Е.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт  
Сибирского отделения Российской академии наук, Российская Федерация,  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 3  
E-mail: maxim\_eudomania@bk.ru*

Линейные полиамины, содержащие несколько аминогрупп, разделенных триметиленовыми фрагментами, широко распространены в живых организмах. Наиболее известными полиаминами в клетках млекопитающих являются спермин, спермидин и путресцин, однако до сих пор известна лишь часть их биологических функций. В своей катионно-аммонийной форме они связываются с ДНК, стабилизируя её вторичную структуру. Термофильные одноклеточные организмы содержат широкий спектр полиаминов, являющихся важными стабилизаторами ДНК в этих клетках. Эндогенные полиамины участвуют в росте клеток живых организмов и модуляции ионных каналов. Взаимодействие полиаминов с поликислотами или полиамфолитами является ключевым для их физиологической активности. Изучение подобных комплексов полиаминов позволяет лучше понимать биохимические процессы, а также получать новые полимерные системы, в том числе стимул-чувствительные.



**Рис.1** Используемые в работе синтетические полиамины.

В данной работе нами изучены комплексы синтетических полиаминов (рис. 1) в водных растворах с поликислотами (полиакриловая кислота (ПАК) и полиметакриловая кислота (ПМАК)) и полиамфолитами (сополимеры акриловой кислоты с виниламином и винилимидазолом) в различных соотношениях. Для исследования данных систем в работе использовали методы турбидиметрии, динамического и статического светорассеяния при различных значениях pH и температуры растворов. Определены критические длины полиаминов при взаимодействии с ПАК, ПМАК и полиамфолитами, изучено поведение исследуемых комплексов в растворе и возможность их применения для солубилизации биологически активных веществ на примере куркумина.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-15-00268).



УДК 539.199

## ТЕРМО И pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА С ИОНОГЕННЫМИ СОМОНОМЕРАМИ

**Тарабукина Е.Б., Красова А.С., Филиппов А.П.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН,  
Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 31  
E-mail: len.ta@mail.ru*

Сополимеры термочувствительного водорастворимого N-изопропилакриламида (N-ИПААм) перспективны для целевой доставки лекарственных веществ, поскольку НКТР поли(N-ИПААм) близка к физиологическим температурам. Сополимеризация N-ИПААм с ионогенными сомономерами позволяет не только получить полимеры с двойной, термо- и pH, чувствительностью, но и регулировать температуры их фазового перехода  $T_{pt}$  в водном растворе. Кроме того, для управления  $T_{pt}$  необходимо учитывать влияние на этот параметр условий среды, в частности содержания в воде соли.

В работе сравнивается поведение при нагревании водных и водно-солевых (NaCl) растворов статистических сополимеров N-ИПААм с анионными сомономерами малеиновой и метакриловой кислотами и акрилоилваллином, катионным 4-винилпиридином и цвиттерионным аллилглицином с близким содержанием ионогенных групп в сополимере.

Методами статического светорассеяния и турбидиметрии получены зависимости интенсивности светорассеяния и оптического пропускания в широком интервале температур при различных pH. Определены температуры  $T_{pt}$  фазового перехода в широком интервале концентраций и pH. С использованием фотонной корреляционной спектроскопии проанализировано образование надмолекулярных структур, имеющее место при нагревании вблизи  $T_{pt}$ . Определены размеры и состав рассеивающих объектов в растворах при различных условиях среды (температура, pH, концентрация, содержание NaCl).

Показано, что выбор функционального сомономера существенным образом определяет как pH-, так и термочувствительность сополимеров N-ИПААм, причем включение в полимерную цепь ионогенного сомономера приводит к повышению  $T_{pt}$  относительно температур фазового разделения растворов гомополимера поли(N-ИПААм). Переход от водных к водно-солевым растворам приводит к понижению температур фазового перехода.

### **Благодарность**

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» (Регистрационный номер 124013000727-3).

УДК 539.199

## СВОЙСТВА В РАСТВОРАХ И ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ОСНОВНЫМИ ЦЕПЯМИ АЛКИЛЕН-АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИЭФИРОВ И БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ ПОЛИОКСАЗОЛИНОВ

**Тарабукина Е.Б., Красова А.С., Курлыкин М.П., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН,  
Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 31  
E-mail: len.ta@mail.ru*

Термочувствительные амфифильные привитые полимеры дают широкие возможности для совершенствования различных технологий, в том числе биомедицинских. Благодаря разветвленной конфигурации, а также различного сродства компонентов сополимера к растворителям они могут служить унимолекулярными или мицеллярными наноконтейнерами. Свойствами таких макромолекул и их способностью к самоорганизации в растворах можно управлять путем варьирования химической структуры, состава и архитектурных параметров, а также условий окружающей среды, в частности, изменения температуры. Поэтому для направленной разработки полимерных материалов, обладающих заданными характеристиками, необходима детальная информация о взаимосвязи структурных и молекулярных параметров полимеров с их поведением в различных средах.

В работе методами молекулярной гидродинамики и светорассеяния исследован ряд привитых сополимеров с термочувствительными поли-2-алкил-2-оксазолиновыми боковыми цепями, содержащими в основной цепи ароматического полиэфира алифатические спейсеры различной длины (от 3 до 8 звеньев  $-\text{CH}_2-$ ). Для сополимеров определены молекулярные и архитектурные характеристики, такие как молекулярная масса основной и боковой цепей, их длина, а также число боковых цепей и плотность их прививки. Проведена оценка равновесной жесткости.

Изучено поведение сополимеров в водных растворах при нагревании в широком интервале концентраций и температур. Определены температуры фазового разделения и их зависимость от концентрации. Получены кинетические характеристики установления равновесия в растворе и образования надмолекулярных структур. Проанализировано влияние длины спейсера и других архитектурных параметров на термочувствительность и самоорганизацию макромолекул в водных растворах при повышении температуры.

### **Благодарность**

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» (Регистрационный номер 124013000727-3).

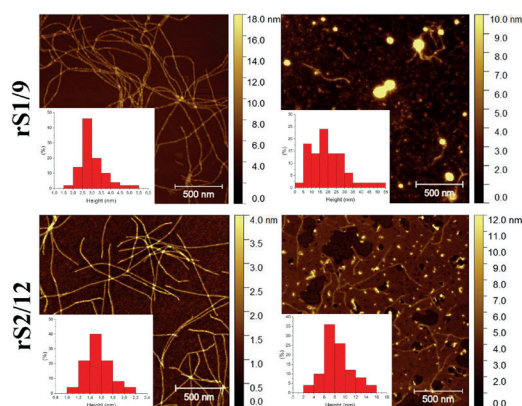
УДК 677.472.9

## ВЛИЯНИЕ САМОСБОРКИ РЕКОМБИНАНТНЫХ СПИДРОИНОВ НА РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ИХ ДИСПЕРСИЙ И СТРУКТУРУ НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕМ

**Тенчури́н Т.Х.**, Шариков Р.В., Белоусов С.И., Давыдова Л.И., Богуш В.Г., Чвалун С.Н.

НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва, пл. Академика Курчатова д.1  
E-mail: [tenchurin.timur@mail.ru](mailto:tenchurin.timur@mail.ru)

Высокая биосовместимость и идеальное сочетание прочности и эластичности спидроинов делает их весьма привлекательными для использования в медицине и при создании композиционных материалов. Влияние первичной аминокислотной последовательности рекомбинантных спидроинов на их пространственную организацию имеет решающее значение для изготовления искусственных волокон и волокнистых материалов. В данном докладе приведены результаты реологических свойств водных дисперсий и спиртовых растворов рекомбинантных аналогов природных спидроинов (rS 1/9 и rS 2/12), а также структура их пленок и нановолокнистых материалов. Показано, что реологическое поведение низко концентрированных (3-11 мг/мл) водных дисперсий спидроинов носило неньютоновский характер. При этом течение более концентрированных ( $\leq 8\%$ ) растворов этих белков в гексофторизопропанол (ГФИП) подчинялось закону Ньютона. Вторичная структура рекомбинантных спидроинов исследовалась методами ИК-спектроскопией, а их самоорганизация в различных растворителях изучалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и криоэлектронной микроскопией. Установлено влияние растворителя на структуру пленок и нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования.



АСМ-изображения нановолокнистых материалов rS 1/9 и rS 2/12, полученных из дисперсий концентрации 0,08 мг/мл в 2% муравьиной кислоте (первая колонка) и ГФИП (вторая колонка)

### Благодарность

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

УДК 541.64;547.787.1

## ПОЛИРОТАКСАНЫ НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДА, ПОЛИЭТИЛЕНИМИНА И АЛЬФА- ЦИКЛОДЕКСТРИНА БЛОЧНОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

**Теньковцев А.В., Курлыкин М.П., Головина М.А.**

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: avt@hq.macro.ru*

В настоящее время трансфекция – перенос генетической конструкции в клетки для лечения приобретенных заболеваний или исправления дефектов генома, является одним из наиболее активно развивающихся и перспективных медицинских направлений. Особое значение имеют невирусные системы доставки, как безопасная альтернатива вирусным, не вызывающая иммунной реакции и мутагенеза. Полиэтиленимин (ПЭИ) успешно применяются при трансфекции *in vitro*. Однако, его низкая эффективность *in vivo*, наряду с высокой цитотоксичностью, ограничивает дальнейшее применение ПЭИ в генной терапии. Для повышения эффективности ПЭИ модифицируют различными классами веществ, как полиэтиленгликоль (ПЭГ). ПЭГ активно используется в геном переносе, образуя мицеллы с молекулами ДНК, что защищает их от взаимодействия с внеклеточной средой, увеличивает растворимость в воде и время циркуляции в организме. Было обнаружено, что полиротаксан на основе линейного ПЭИ и альфа-циклодекстрина показывает лучшую эффективность трансфекции и меньшую цитотоксичность по сравнению с линейным ПЭИ и может быть использован для разработки новых невирусных векторов доставки генов для генной терапии. Ротаксаны относятся к классу супрамолекулярных соединений, состоящих из взаимосвязанных макроциклов, нанизанных на основную макромолекулу. Разработка высокопроизводительных и менее трудозатратных методов синтеза взаимосвязанных молекул, которые обеспечивают легкий доступ к этим высокоразвитым супрамолекулярным системам, является важной проблемой супрамолекулярной химии. В связи с этим, были получены образцы ротаксанов на основе ПЭГ и ПЭИ с блочным и статистическим распределением макроциклов вдоль цепи. Структура синтезированных полимеров была подтверждена методом ЯМР спектроскопии и ГПХ. Исследовано поведение синтезированных полимеров в водных растворах, в частности их термочувствительность. Так же интересно отметить высокое значение удельного оптического вращения полученных полимеров, что говорит о формировании спиралевидной структуры за счёт упорядочения макроциклов и образования системы водородных связей между макроциклами.

УДК 541.64:539.199

## КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РЕАЦЕТИЛИРОВАННОГО ХИТОЗАНА С СОПОЛИМЕРОМ МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ И НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА В СЛАБОЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

**Тищенко Н.А.<sup>1</sup>, Самойлова Н.А.<sup>1</sup>, Вышиванная О.В.<sup>1</sup>, Тихонов В.Е.<sup>1</sup>, Безродных Е.А.<sup>1</sup>,  
Айсин Р.Р.<sup>1</sup>, Орлов В.Н.<sup>2</sup>, Благодатских И.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова,  
Москва, 119334, ул. Вавилова 28 стр.1*

<sup>2</sup> *НИИ Физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского МГУ,  
Москва, 119992, Ленинские горы, дом 1, стр 40  
E-mail: nik\_1456@mail.ru*

Хитозан – аминоксодержащий полисахарид природного происхождения, обладающий такими свойствами, как биосовместимость, биоразлагаемость и антимикробная активность. Совокупность этих свойств дает возможность использования этого полимера в биомедицинских целях. Однако существенным ограничением для создания лекарственных форм на основе хитозана является потеря им растворимости выше значений рН 6.2-6.5. Решением данной проблемы является частичное гомогенное реацетилирование, которое позволяет получить статистическое распределение звеньев N-ацетил-D-глюкозамина по цепи, что способствует увеличению растворимости хитозана в слабощелочной среде [1]. В нашей работе исследуется взаимодействие реацетилированного короткоцепного хитозана (РА-ХИ) с дикарбоновой поликислотой – сополимером этилена и малеиновой кислоты (ЭМК), и золем золота, стабилизированным этим полимером (ЭМК-Au). Совмещение оптических свойств наночастиц золота и биологических свойств хитозана является актуальной задачей. В данной работе показано, что РА-ХИ образует комплексы как с полимером ЭМК, так и с золем ЭМК-Au. Особенностью комплексообразования при рН 7.4 по сравнению с слабощелочной рН 6.0 является более высокая агрегативная устойчивость наночастиц комплексов с радиусом порядка 100 нм. Комплексообразование происходит в 2 этапа и сопровождается дополнительной ионизацией хитозана за счет переноса протонов с буферного вещества. Эти закономерности наблюдаются как при взаимодействии полимер – полимер, так и при взаимодействии полимер – золь.

### Ссылки

[1] Blagodatskikh I.V. et al. N-Reacetylated Oligochitosan: pH Dependence of Self-Assembly Properties and Antibacterial Activity // *Biomacromolecules*. – 2017. – Vol. 18. – P. 1491–1498.

УДК 541.6

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОГЕЛЕЙ ЛИПИДНОЙ МЕМБРАНОЙ****Ужегов А.А., Потемкин И.И., Гумеров Р. А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Москва, Ленинские Горы 1 стр.2  
E-mail: uzhegov.aa19@physics.msu.ru*

Микро- и наногелями называются высокомолекулярные полимерные частицы, находящиеся в виде коллоидного раствора и имеющие структуру сетки, заполненной растворителем. Отличительными свойствами микрогелей являются способность деформироваться, захватывать и высвобождать гостевые молекулы и понижать поверхностное натяжение. Особенности данных систем может использоваться во многих приложениях: очистка жидкостей от загрязнений, стабилизация эмульсий, формирование паттернов для металлических частиц. Но наиболее важное из них – адресная доставка лекарств. В контексте применения контейнеров для медикаментозного лечения опухолей особое значение имеет изучение эндоцитоза, и понимание кинетики данного процесса позволит предсказать как эффективность поглощения препарата клетками-адресатами, так и время его циркуляции в кровотоке.

При изучении эндоцитоза часто рассматривается взаимодействие частиц с липидным бислоем как моделью клеточной стенки. Так, существует множество работ, где показано влияние формы, размера, гидрофильности и упругости различных частиц на их способность к адсорбции на мембрану, прохождению через нее или поглощению. Однако среди этих работ почти нет посвященных наногелям.

В рамках проведенного компьютерного эксперимента методом диссипативной динамики частиц рассматривалось поглощение липидной мембраной одиночных наногелей с различной плотностью шивки и молекулярным весом. Обнаружено, что время полного оборачивания существенно увеличивается с увеличением длины субцепи, и получены количественные оценки. Также было изучено поведение комплекса нангель-липосома (который сам может являться контейнером для доставки лекарств) при изменении внешних условий.

**Благодарность**

Работы выполнены при поддержке гранта РНФ № 21-73-30013. Моделирование проводилось на суперкомпьютере Ломоносов 2 суперкомпьютерного комплекса Московского Государственного Университета.



УДК 541.64:547(391+745)

## НОВЫЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА ДЕНДРИТНОГО СТРОЕНИЯ. СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**Ульянов И.В.,** Перепелицина Е.О., Филатова Н.В., Курмаз С.В.

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН  
142432 Черноголовка, просп. акад. Семенова, 1  
E-mail: skurmaz@icp.ac.ru*

Сополимеризация N-изопропилакриламида (НИПА) с мономерами, содержащими две и более С=C связи, позволяет изменить архитектуру макромолекул, провести функционализацию его концевых цепей реакционно-способными группами, осуществить тонкую настройку термочувствительности и расширить области применения, в частности для адресной доставки лекарств. В настоящей работе методом радикальной сополимеризации в отсутствие и в присутствии агентов передачи цепи – цистеамина и 3-меркаптопропионовой кислоты синтезированы сополимеры N-изопропилакриламида с диметакрилатом триэтиленгликоля (ДМТЭГ) нелинейной структуры. Определены их мономерные составы, абсолютная молекулярная масса  $M_w$  и полидисперсность, температура стеклования. Показано, что с увеличением содержания ДМТЭГ в мономерной смеси возрастает содержание метакрилатных звеньев в сополимере, молекулярная масса  $M_w$  и разветвленность полимерных цепей. Изучено поведение сополимеров в водных средах методом динамического рассеяния света (ДРС); из зависимости интенсивности рассеяния света от температуры определена эффективная величина НКТР и установлена ее зависимость от состава сополимера, его молекулярной массы и концентрации в фосфатно-солевом буфере. Показано, что амфифильные макромолекулы в растворах агрегируют с образованием полимерных частиц с гидродинамическим радиусом ~50-100 нм; определены их критические концентрации агрегатообразования. Исследована цитотоксичность сополимеров в отношении опухолевых клеток HeLa и неопухолевых клеток Vero (МТТ-тест, 72 ч); сделан вывод об их низкой цитотоксичности и перспективности как носителей биологически активных соединений.

Показана возможность инкапсулирования в полимерные наночастицы (ПНЧ) гидрофобного метилфеофорбида а (МФФ), перспективного фотосенсибилизатора в фототераностике. Исследованы физико-химические свойства полимерных композиций – растворимость в воде, стабильность в водных растворах; методом ДРС определены размеры ПНЧ-МФФ в водных средах при различных температурах. Показано, что стабильность водных растворов ПНЧ-МФФ зависит от состава и молекулярной массы сополимеров. С помощью ИК-спектроскопии показана возможность локализации молекул МФФ как в гидрофобных, так и гидрофильных областях ПНЧ, а также межмолекулярного связывания с кислородсодержащими группами сополимеров.

### **Благодарность**

Работа выполнена по теме Государственного задания № 124013000722-8 и № 124020500019-2.

УДК 541.64

## КОНТРОЛЬ ПЕРОКСИОКСАЛАТНОЙ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ РЕАКЦИИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОРЕАКТОРОВ

**Фомин Е.О., Якимов Н.П., Мелик-Нубаров Н.С.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1.  
E-mail: evgeniy\_fomin\_2000@bk.ru*

Хорошо известно, что в раковых клетках повышена эндогенная концентрация перекиси водорода. В настоящее время, основываясь на этой особенности, активно разрабатываются стратегии дифференцированного лечения онкологических заболеваний. Одной из таких стратегий является использование селективной реакции на перекись водорода – пероксиоксалатной хемилюминесцентной реакции (ПО-реакция). В ходе этой реакции может генерироваться свет – для диагностики заболевания или высокотоксичный синглетный кислород – для терапии.

Ароматический эфир щавелевой кислоты, который быстро гидролизуется в водной среде, является основным компонентом ПО-реакции. Гидролиз ароматического оксалата серьезно ограничивает биологическое применение данного метода. В связи с этим для проведения ПО-реакции в воде, ее компоненты необходимо поместить в гидрофобное ядро коллоидных частиц. Можно ожидать, что природа нанореактора влияет на ПО-реакцию, одна она практически не изучена.

В данной работе мы исследовали влияние упаковки на эффективность ПО-реакции. Для получения коллоидных частиц использовали эмульсию диметилфталата, стабилизированную плуроником L64, и мицеллы биоразлагаемого блок-сополимера полилактида и монометокси-полиэтиленгликоля. В качестве оксалатов использовали синтезированный нами биосовместимый бис(N-бензоил-L-тирозин этиловый эфир)оксалат (БТЭЭ-оксалат) и коммерчески доступный бис(2,4,5-трихлор-6-(пентилоксикарбо-нил)фенил)оксалат (СРРО).

Мы показали, что эффективность ПО-реакции для СРРО возрастает в два раза при переходе от мицелл к эмульсии. Противоположный результат наблюдается для БТЭЭ-оксалата, причем в этом случае интегральная интенсивность хемилюминесценции снижается более чем на порядок. Ожидалось, что эффективность ПО-реакции высокоактивного СРРО в пределах одной системы будет выше по сравнению с малоактивным БТЭЭ-оксалатом. Однако в мицеллах блок-сополимера эта гипотеза не подтвердилась. Стабильность оксалатов в водном растворе для обеих систем была примерно одинаковой. Характерное время падения интегральной интенсивности ПО-реакции составило порядка 30 минут. Таким образом, природа нанореактора оказывает существенное влияние на эффективность ПО-реакции.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00119).

УДК 577:541.124

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ИЗ ИОНОВ В МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА, ОСНОВАННЫХ НА СУКЦИНИЛ-ХИТОЗАНЕ

**Футорянская А.М., Александрова В.А.**

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, 119991, Россия,  
Москва, Ленинский проспект, д. 29, Москва, 119021, Россия  
e-mail: futoryanskaya@ips.ac.ru*

Уникальные свойства наночастиц металлов привлекают исследователей из различных областей науки и техники. Биологическая активность таких частиц зависит от методов получения, что определяет их размер, состав и физико-химические характеристики. Большой интерес для биомедицинских целей представляют наноконкомпозиты, полученные на основе нетоксичных полимеров природного происхождения, содержащие бактерицидные компоненты, в частности, наночастицы серебра (НЧА<sub>g</sub>).

С учетом этого в данной работе при создании макромолекулярных систем проявляющих антибактериальную активность, для стабилизации синтезируемых НЧА<sub>g</sub>, был использован в качестве полимерной матрицы нетоксичный водорастворимый полимер – сукцинил-хитозан (СХТЗ). В соответствии с разработанным подходом реакцию проводили в растворе СХТЗ в присутствии восстановителя D-глюкозы с использованием кратковременного воздействия микроволнового излучения. В результате проведенных исследований были выявлены оптимальные условия синтеза НЧА<sub>g</sub> в матрице полимера. Для улучшения пленкообразующих свойств полученных наноконкомпозитов, а также для предотвращения ассоциации формирующихся НЧА<sub>g</sub> в систему был введен нетоксичный биосовместимый полимер – полиэтиленоксид (ПЭО) в количестве 10% или 20% от массы СХТЗ. При таком подходе синтез НЧА<sub>g</sub> осуществляли в комбинированной полимерной матрице-СХТЗ/ПЭО без использования восстановителя при термической активации системы (700С). Образование НЧА<sub>g</sub> в макромолекулярных системах подтверждали с использованием данных УФ-спектроскопии по появлению полосы поглощения характерной для НЧА<sub>g</sub> ( $\lambda_{\text{макс.}}$ -417-420 нм). Согласно данным просвечивающей электронной микроскопии синтезированные НЧА<sub>g</sub> имели сферическую форму. Введение дополнительного компонента-ПЭО позволило снизить размеры образующихся НЧА<sub>g</sub> с 10-34 нм (в случае микроволнового синтеза) до 1-6 нм для системы, содержащей 10% ПЭО, а при введении ПЭО 20% образовывались более мелкие частицы - 1–3 нм. О стабильности НЧА<sub>g</sub>, синтезированных в матрице СХТЗ, судили по отсутствию уменьшения оптической плотности НЧА<sub>g</sub> в УФ-спектрах полученных коллоидных растворов после их выдержки в темноте при комнатной температуре в течение 6 месяцев.

Исследование в опытах *in vitro* полученных коллоидных растворов, содержащих НЧА<sub>g</sub>, показало, что уменьшение размеров НЧА<sub>g</sub> приводит к расширению спектра антибактериальной активности (*B.subtilis* ATCC 6633, *S.aureus* 209P, *E.coli* ATCC 25922) и проявлению антифунгальной активности *A.niger* INA 00760. Полученные макромолекулярные системы на основе нетоксичных биосовместимых полимеров, содержащих НЧА<sub>g</sub>, могут найти применение при создании материалов биомедицинского назначения. Работа выполнена в рамках госзадания ИХХС РАН.

УДК 677.494:677.46

## НЕТКАНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Ольхов А.А.<sup>1,2</sup>, Хан О.И.<sup>3</sup>, Додина Е.П.<sup>2</sup>, Карпова С.Г.<sup>2</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>, Станишевский Я.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Стремянный переулок, д.36*

<sup>2</sup> *Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН, Москва, ул. Косыгина, д. 4*

<sup>3</sup> *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы", г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: oksa\_0096@mail.ru, ekaterina\_dodina@mail.ru*

В последние годы биоразлагаемые полимеры привлекли значительное внимание в качестве биоматериалов в фармацевтике, медицине и биомедицинской инженерии, включая системы доставки лекарств, искусственные имплантаты и функциональные материалы в тканевой инженерии [1]. В работе использовали такие биоразлагаемые полимеры, как полилактид (ПЛА), поликапролактон (ПКЛ), полигидроксибутират (ПГБ) и поливинилпирролидон (ПВП). На основе смесей полимеров ПЛА/ПКЛ и ПГБ/ПВП были получены волокнистые материалы [2]. Волокна получали методом электроформования с использованием однокапиллярной установки (Россия, г. Москва). Исследование состояния полимерных композитов с помощью термических (ДСК) и спектральных (ЭПР) методов позволило проанализировать влияние состава смесей на структурные и динамические характеристики волокон. Анализ ДСК показал, что характерной особенностью термограмм для смесей ПЛА/ПКЛ является перекрытие эндотермических пиков плавления ПКЛ и стеклования ПЛА, а низкотемпературный максимум на термограмме ДСК ПГБ/ПВП позволил получить информацию о состоянии сети водородных связей ПВП, что дало возможность определить энтальпию термической деструкции этих связей. Были изучены спектры ЭПР радикала в матрицах гомополимеров ПЛА и волокнах ПГБ/ПВП. Спектры представляют собой суперпозицию двух спектров, наложение двух спектров быстрой и медленной составляющих.

### Ссылки

- [1] Bikiaris D. N. et al. Miscibility and enzymatic degradation studies of poly ( $\epsilon$ -caprolactone)/poly (propylene succinate) blends //European Polymer Journal. – 2007. – Т. 43. – №. 6. – С. 2491-2503.  
[2] Karpova S.G.; Ol'khov A.A.; Zhul'kina A.L.; Popov A.A.; and Iordanskii A.L. Nonwoven Materials Based on Electrospun Ultrathin Fibers of Poly(3-hydroxy-butyrate) and Complex Tin Chloride–Porphyrin, Polymer Science, Series A, 2021, 63 (4), 369–381.

УДК 547.992+546.11.027\*3+577.152.3

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ С ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФАТАЗОЙ И ЛИЗОЦИМОМ

**Чернышева М.Г., Михайлов Г.С., Скребкова А.С., Павлова М.А., Бадун Г.А.**

*МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д.1., 119991*

*E-mail: chernyshevamg@my.msu.ru*

Гуминовые кислоты можно рассматривать как природные полиэлектролиты, способные связывать физиологически активные вещества, включая ферменты. При этом на сегодняшний день нет однозначного ответа, являются ли гуминовые кислоты ингибиторами ферментов [1,2]. В настоящей работе проведено исследование взаимного влияния ферментов (щелочной фосфатазы и лизоцима) и гуматов калия, а также окисленного производного лигнина при конкурентной адсорбции на границе раздела фаз раствор-толуол. Исследовано влияние гуминовых кислот на ферментативную активность щелочной фосфатазы в реакции гидролиза п-нитрофенилфосфата с образованием п-нитрофенола и влияние окисленного производного лигнина на активность лизоцима при лизисе клеток *Micrococcus Luteus*. Отметим, что в этих реакциях исследуемые гуминовые кислоты и производное лигнина при отсутствии фермента не дают отклика.

Для исследования поведения веществ на границе раздела фаз раствор-толуол использовали меченные тритием вещества, которые получали с помощью метода термической активации трития и метод жидкостной сцинтилляционной спектроскопии в варианте сцинтиллирующей фазы для непосредственного определения количества вещества на границе раздела фаз.

Показано, что лизоцим образует комплекс с окисленным производным лигнина, подобно тому, как это происходило с гуминовыми кислотами [2]. В данной работе исследовано влияние pH и ионной силы на образование комплекса и его состав между лизоцимом и производным лигнина.

Найдено, что гуминовые кислоты увеличивают ферментативную активность щелочной фосфатазы, при этом щелочная фосфатаза не влияет на адсорбцию гуминовых кислот на границе раздела фаз раствор-толуол.

Особенности межмолекулярного взаимодействия фермента и полиэлектролита обсуждаются в докладе.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках гос. задания № 122012600116-4.

### **Литература**

1. Li Y., Tan W.-F., Koopal L.K., Wang M.-X., Liu F., Norde W. Influence of soil humic and fulvic acid on the activity and stability of lysozyme and urease // *Environ. Sci. Technol.* 2013. V. 47. P. 5050–5056.
2. Чернышева М.Г. Новый подход к определению структурных особенностей комплексов белок-лиганд на межфазных границах и в объеме раствора (на примере лизоцима) Дисс... докт.хим.наук 2022.

УДК 661.728; 539.25

## ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ГЕЛЬ-ПЛЕНОК БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ *GLUCONACETOBACTER –HANSENI* GH-1/2008 В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**Шалина Н.А.<sup>1</sup>, Архарова Н.А.<sup>2</sup>, Каримов Д.Н.<sup>2</sup>,  
Макаров И.С.<sup>3</sup>, Громовых Т.И.<sup>1,2</sup>, Клечковская В.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет»,  
107023, Москва, ул. Большая Семёновская, 38

<sup>2</sup>Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники  
НИЦ «Курчатовский институт», 119333, Москва, Ленинский пр., 59

<sup>3</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
119991 Москва, Ленинский пр., 29  
E-mail: nattie.shalina@gmail.com

Изготовление органических материалов с широким спектром возможных применений имеет большой потенциал для различных областей фармацевтического производства, медицины и пищевой промышленности. Бактериальная целлюлоза (БЦ) – экзополимер, синтезируемый прокариотами, который обладает уникальными свойствами, включая химическую чистоту, способность удерживать влагу и высокую степень полимеризации [1-3]. Цель исследования изучение структуры пленок целлюлозы, синтезируемых продуцентом *Glucanacetobacter hansenii* GH-1/2008 на стандартной питательной среде Хестрина-Шрама при жидкофазном статическом культивировании в течение 30 суток. Структура полученных пленок исследована методами оптической, электронной микроскопии и рентгенофазового анализа.

Установлено, что в процессе культивирования преимущественно формируется целлюлоза I. Изучена временная зависимость массового выхода бактериальной целлюлозы. Обнаружено, что независимо от времени культивирования микроструктура верхней и нижней поверхности пленок БЦ различна: на верхней поверхности гель-пленок присутствуют поры диаметром от нескольких до 300 нанометров, при этом основная доля пор имеет размер до 125 нм; на нижней поверхности распределение пор по размерам носит более широкий характер.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-29-00952 и в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

### Ссылки

- [1] Patchan M. W. et al. Evaluation of the biocompatibility of regenerated cellulose hydrogels with high strength and transparency for ocular applications //Journal of Biomaterials Applications. – 2016. – Т. 30. – №. 7. – С. 1049-1059.  
[2] Huang Y. et al. Recent advances in bacterial cellulose //Cellulose. – 2014. – Т. 21. – С. 1-30.



УДК 577.323.23

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛЫ ДНК С КООРДИНАЦИОННЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ МЕДИ И МАРГАНЦА, СОДЕРЖАЩИМИ ФЕНАНТРОЛИНОВЫЕ ЛИГАНДЫ

**Шатица М.П.<sup>1</sup>, Касьяненко Н.А.<sup>1</sup>, Демидов В.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

<sup>2</sup>Институт химии силикатов РАН, г. Санкт-Петербург, РФ

E-mail: st067901@student.spbu.ru

В настоящее время комплексы металлов с органическими лигандами привлекают всеобщее внимание как потенциальные средства для лечения рака. Для минимизации побочных эффектов, в качестве комплексообразующего иона используются металлы, обладающие высокой биосовместимостью. Медь и марганец относятся к числу эндогенных металлов, а фенантролин и его производные, в свою очередь, известны противовирусными, антибактериальными и противогрибковыми свойствами. Ожидается, что введение фенантролина в координационную сферу меди и марганца приведет к синергетическому эффекту при лечении различных заболеваний.

Были изучены конформационные изменения молекулы ДНК при формировании комплексов с соединением меди, и двумя соединениями марганца, содержащими в координационной сфере две, одну и три молекулы фенантролина соответственно. Приведено сравнение полученных данных с результатами взаимодействия с ДНК свободного фенантролина, ионов меди и марганца. Изучение комплексообразования проводили с использованием методов спектрофотометрии, низкоградиентной вискозиметрии, кругового дихроизма, динамического светорассеяния и двойного лучепреломления в потоке. Было также изучено плавление ДНК в комплексах и проанализировано влияние ионной силы и pH раствора на комплексообразование. Проведена оценка констант связывания соединений с ДНК. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что исследуемые соединения связываются с ДНК. Можно ожидать, что они проявят биологическую активность и в системах *in vivo*.

### Благодарность

Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Чихиржиной Е.В. за любезную помощь в проведении экспериментов методом кругового дихроизма. Результаты частично получены с использованием оборудования ресурсного Центра диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники СПбГУ.

## СШИТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОСФЕРЫ: СИНТЕЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

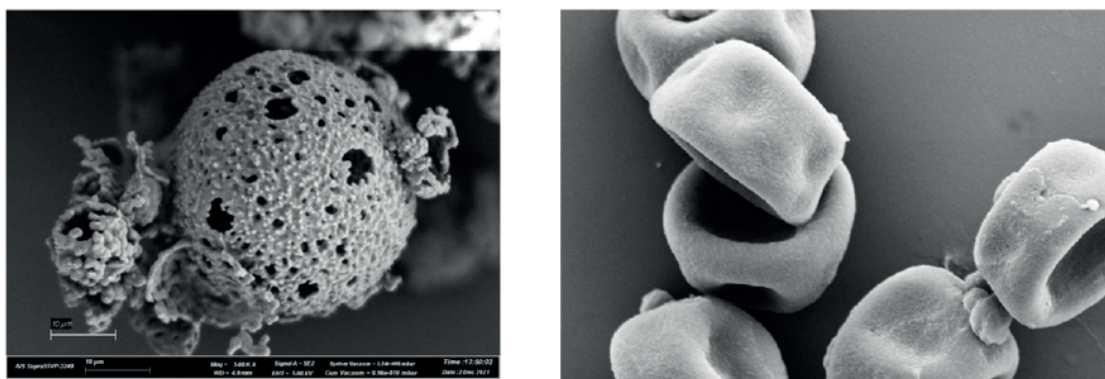
**Шевченко Н.Н.<sup>1</sup>, Якобсон О.Д.<sup>1</sup>, Шабсельс Б.М.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>1</sup>, Вонский М.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр., 31*

<sup>2</sup> *ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, Московский просп., 19  
E-mail: natali.shevchenko29@gmail.com*

Существующая в настоящее время потребность в разработке методов синтеза монодисперсных полимерных частиц с заданной морфологией и размером в микрометровом диапазоне обусловлена их применением для конструирования материалов нового поколения с внутренней иерархической структурой. Например, синтез полых микросфер привлекает все большее внимание исследователей, благодаря широким перспективам их применения для инкапсулирования и доставки лекарственных средств, а также при использовании таких микросфер в качестве микрореакторов. Еще одним интересным направлением является синтез несферических полимерных частиц. Такие несферические полимерные частицы могут быть рассмотрены в качестве модельных при их изучении в качестве стандартных образцов для калибровки анализаторов крови.

В данной работе показано, что методом дисперсионной полимеризации стирола в одну стадию могут быть получены как сшитые полые микросферы, так и несферические частицы (рис. 1). Варьирование условий полимеризации (составы мономерной фазы и дисперсионной среды, температура и т.д.) позволяет контролировать как толщину стенки у полых микросфер, так и диаметр образующихся несферических частиц.



**Рисунок 1.** Электронные микрофотографии сшитых полистирольных микросфер: полые (а) и несферические (б).

УДК 547.995.12:546.57

## ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В КАРБОКСИМЕТИЛХИТИНЕ

**Широкова Л.Н., Александрова В.А.**

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, Ленинский просп., 29  
E-mail: shirokova@ips.ac.ru*

Осуществлен синтез наночастиц серебра методом термохимического восстановления ионов серебра с использованием в качестве матрицы и стабилизатора 6-О-карбоксиметилхитина (КМХ). На основе анализа данных УФ-ВИД-спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии удалось подтвердить наличие наночастиц серебра в системе, а также определить их размер и форму. С использованием метода ИК-Фурье спектроскопии удалось подтвердить возможность взаимодействия карбоксильных групп КМХ с положительно заряженными кластерами и атомами поверхности наночастиц, что способствует их дополнительной стабилизации [1].

Синтез наночастиц серебра проводили в водном растворе КМХ (0,5 мас.%), в который добавляли водный раствор  $\text{AgNO}_3$  до достижения концентрации 3.5 или 7.0 ммоль/л в растворе КМХ. Полученный раствор, содержащий КМХ и  $\text{AgNO}_3$ , подвергали термической обработке на установке, позволяющей контролировать температуру рабочего раствора. Реакцию проводили при постоянном перемешивании и температуре 85°C в течение 30 мин.

На электронных микрофотографиях этих систем видно, что для КМХ при степенях заполнения 0.2 и 0.4 образуются наночастицы серебра размером 20–30 нм (для степени заполнения 0.2) и 10–15 нм (для степени заполнения 0.4) сферической формы. На микродифрактограммах присутствуют рефлексы, соответствующие кристаллической решетке металлического серебра.

Таким образом, показано, что термическое воздействие на раствор КМХ, содержащий ионы серебра, приводит к образованию наночастиц серебра, размер которых можно регулировать путем изменения степени заполнения макромолекулы КМХ ионами серебра. Поскольку при проведении термического синтеза наночастиц серебра используют экологически безопасные вещества, этот метод относится к зеленой химии. Известно, что КМХ характеризуется комплексом свойств, таких как нетоксичность, биodeградируемость, биосовместимость и др. Поэтому такие системы с наночастицами серебра могут найти применение для создания нанокompозитных материалов, проявляющих выраженную бактерицидную активность.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

### **Ссылки**

[1] Широкова Л. Н. Термический синтез наночастиц серебра в карбоксиметилхитине / В. А. Александрова, Г. Н. Бондаренко // Пластические массы. – 2022. № 7-8. – С. 13-15.

УДК 547.995.12:546.57

## ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ БАКТЕРИЦИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В КАРБОКСИМЕТИЛХИТИНЕ

**Широкова Л.Н., Александрова В.А.**

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, Ленинский просп., 29  
E-mail: shirokova@ips.ac.ru*

В результате предварительных проведенных экспериментов были подобраны условия микроволнового гидротермального синтеза наночастиц серебра в матрице 6-О-карбоксиметилхитина (КМХ) в присутствии в качестве восстановителя D-глюкозы. К 5 мл 1.0%-ного раствора КМХ в воде добавляли 5 мл 10 мМ водного раствора  $\text{AgNO}_3$  и 0.5 мл 10%-ного раствора D-глюкозы. Полученный раствор, содержащий КМХ,  $\text{AgNO}_3$  и D-глюкозу подвергали микроволновой обработке с применением микроволновой гидротермальной установки SpeedWave four ("Berhof", Германия) при температуре 130°C в течение 4 мин, мощность микроволнового излучения 600 Вт.

По результатам просвечивающей электронной микроскопии наночастицы серебра имели сферическую форму размером в пределах 3–20 нм. Полученный коллоидный раствор наночастиц серебра оказывал сильный бактерицидный эффект на грамположительные бактерии *Staphylococcus aureus* ATCC 21027 (=209 P), *Bacillus subtilis* ATCC 6633 и *B. coagulans* 429 (табл.).

Учитывая, что КМХ относится к числу нетоксичных, биodeградируемых и биосовместимых полимеров, на основе которого могут быть получены пленочные нанокомпозитные материалы, содержащие наночастицы серебра, такие системы могут найти применение при разработке биорассасываемых раневых покрытий на кожу.

**Таблица.** Бактерицидная активность (зона угнетения роста, мм) препаратов КМХ с наночастицами серебра в отношении условно-патогенных бактерий [1]

Тест-организм	Наночастицы серебра-КМХ, мкг/мл		КМХ*	Амоксициллин, 10 мкг/мл
	53.7	107.4		
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 21027 (=209 P)	20	24	–	16
<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	15	119	–	20
<i>B. coagulans</i> 429	17	21	–	20

\* Зоны угнетения не было.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

### Ссылки

[1] Alexandrova V. A. Antimicrobial activity of silver nanoparticles in a carboxymethyl chitin matrix obtained by the microwave hydrothermal method / L. N. Shirokova, V. S. Sadykova, A. E. Baranchikov // *Appl Biochem Microbiol.* – 2018. Vol. 54, № 5. – P. 496-500.

УДК 54.64

## ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

**Беканова М.З.<sup>1</sup>, Иванова Е.А.<sup>1</sup>, Власов Е.И.<sup>1</sup>, Сименидо Г.А.<sup>1</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>2</sup>,  
Плуталова А.В.<sup>1</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет,  
Москва, Ленинские горы, 1, с. 3*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
Москва, Ленинские горы, 1, с. 2  
E-mail: bkmarianna@yandex.ru*

Стимул-чувствительные материалы на основе поли(N-изопропилакриламида) (ПНИПАМ) получили широкое применение для задач клеточной инженерии благодаря возможности обеспечить прикрепление и открепление клеток с полимерной подложки в контролируемом режиме. Например, пленки ПНИПАМ используют для культивирования клеток, вызывая адгезию клеток к полимерной подложке или самопроизвольное открепление тканей за счет изменения температуры. Однако для поддержания надлежащей адгезии и пролиферации клеток различных тканей требуется изменение НКТР полимера. Этого можно достичь введением гидрофобных или гидрофильных мономеров в цепь ПНИПАМ.

В настоящей работе предложен метод контролируемого синтеза сополимеров НИПАМ в водных средах в условиях полимеризации с обратимой передачей цепи (ОПЦ) выше НКТР. Обычная радикальная полимеризация НИПАМ в водных средах приводит к образованию полимера с широким ММР при ее проведении ниже НКТР и сшитому полимеру – выше НКТР. Используя гидрофильный несимметричный третиокарбонат, синтезировали ПНИПАМ и сополимеры НИПАМ с N,N-диметиламиноэтилметилакрилатом (ДМАЭМА) с  $M_n = 3000 - 20000$  и  $D < 1.2$ . В последнем случае оказалось, что повышение содержания ДМАЭМА в смеси приводит к ингибированию полимеризации. Блок-сополимеры на основе ПНИПАМ были получены с использованием полимерного ОПЦ-агента на основе ПЭГ с  $M_n = 2000$  и  $5000$ . В этом случае ОПЦ-полимеризация происходит по механизму polymerization-induced self-assembly и сопровождается образованием блок-сополимерных частиц.

НКТР полученных полимеров определяли методами динамического светорассеяния и турбидиметрии. Показано, что в блок-сополимере НКТР растет с ростом длины блока ПЭГ и зависит от соотношения длин блоков ПЭГ и ПНИПАМ. В сополимере с ДМАЭМА НКТР растет с увеличением доли ДМАЭМА и понижением pH среды.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24-45-10012).

УДК 661.728.892:544.773.432

## ОКИСЛЕНИЕ ХЛОПКОВОЙ И РЕГЕНЕРИРОВАННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗ В СИСТЕМЕ $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_3\text{PO}_4$ - $\text{NaNO}_2$ : ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ И СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗЫ, СВОЙСТВА И ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Бутрим С.М.,** Бильдюкевич Т.Д., Бутрим Н.С., Юркштович Т.Л.

*НИИ физико-химических проблем БГУ, г. Минск, ул.Ленинградская, 14  
E-mail: butryms@bsu.by*

Именно окисленная целлюлоза нашла широкое применение в качестве биodeградируемого кровоостанавливающего средства при хирургических операциях различной локализации.

Разработан метод окисления хлопковой и регенерированной целлюлоз в системе  $\text{HNO}_3$ - $\text{H}_3\text{PO}_4$ - $\text{NaNO}_2$ , приводящий к получению окисленной целлюлозы, соответствующей по показателям качества требованиям USP (16,0-24,0% карбоксильных групп, азота не более 0,5 %, золы не более 0,15 %), что позволяет применять ее в качестве биodeградируемого гемостатического средства. Строение синтезированных окисленных хлопковых и регенерированных целлюлоз с различным содержанием  $\text{COOH}$ -групп подтверждено методами ИК-спектроскопии и элементного анализа, структура и термическая стабильность изучены методами рентгеноструктурного и термogrавиметрического анализов, соответственно. Показано, что дифрактограммы хлопковых и регенерированных целлюлоз, окисленных в течение 4 - 24 ч, имеют рефлексы, характерные для двух полиморфных модификаций: *целлюлозы I* (характерная для исходной хлопковой целлюлозы) и *целлюлозы II* (характерная для исходной регенерированной целлюлозы).

Научная новизна работы заключается в том, что нами предложен способ, позволяющий получить окисленную целлюлозу, соответствующую международным показателям качества, при этом не используя традиционный для этих целей окислитель - оксид азота (IV) и галогенсодержащие органические растворители, применив вместо этого смесь азотной и фосфорной кислот с использованием катализатора  $\text{NaNO}_2$ , который позволяет синтезировать окислитель - оксид азота (IV) *in situ*.

Нами показано, например, что при комнатной температуре минимальное время окисления, необходимое для получения окисленной регенерированной целлюлозы с требуемым содержанием карбоксильных групп (18,0 – 24,0 %), составляет 8-10 ч при концентрации катализатора 0,36 - 0,72 %. Установлено, что с увеличением концентрации катализатора возрастает скорость реакции окисления обоих видов исходной целлюлозы. В случае регенерированной целлюлозы нами подобраны условия ее окисления без применения  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .



УДК 541.64:544.77:532.77:620.186

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БОКОВЫХ ЦЕПЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ ЩЕТОК НА ИХ СТРУКТУРНЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Валуева С.В., Волков А.Я., Боровикова Л.Н., Иванов И.В.**

*НИЦ «Курчатовский центр» Институт высокомолекулярных соединений,  
Санкт-Петербург, 199004, Большой пр. В.О., д. 31  
E-mail: svalu67@mail.ru*

В прикладных исследованиях проявляется большой интерес к полимерным объектам, носящим название "полимерные щетки", самоорганизацией которых можно управлять, изменяя их структуру, состав/соотношение компонентов, что является эффективным инструментом для создания на их основе наноструктурированных материалов. Классическим примером таких объектов могут служить амфифильные молекулярные щетки с гидрофобной полиимидной основной цепью и гидрофильными боковыми цепями полиметакриловой кислоты (графт-ПИ-ПМАК). Эти графт-сополимеры при высоких значениях степени полимеризации  $m$  боковых цепей и плотности их прививки  $f_{in}$  проявляют способность инкорпорировать в гидрофобную часть лекарственных препаратов/агенты за счет гидрофобных взаимодействий [1]. В данной работе методами рентгено-структурного анализа (РСА) и УФ/видимой спектроскопии были проведены исследования структурных и спектральных характеристик молекулярных щеток графт-ПИ-ПМАК со степенью полимеризации боковых цепей, которая изменялась в диапазоне  $m = 60-250$ . Плотность прививки боковых цепей графт-ПИ-ПМАК составляла  $f_{in} = 100\%$ , молекулярная масса основной цепи была фиксирована. По данным РСА образцы графт-ПИ-ПМАК имели слабо упорядоченную кристаллическую структуру. Наименее упорядоченными являлись образцы с короткими боковыми цепями ( $m = 60$  и  $65$ ), при дальнейшем увеличении степени полимеризации  $m$  боковых цепей ПМАК ( $m = 120, 125$  и  $180$ ) наблюдалось возрастание степени упорядоченности. Для образцов с максимальной длиной боковых цепей ( $m = 250$  и  $270$ ) кристаллическая структура была выражена слабее, чем у образцов с  $m = 120-180$ . Некоторое сужение рефлексов на дифрактограмме образца с  $m = 180$  свидетельствовало о большей упорядоченности и более плотной упаковке этого образца по сравнению с другими исследованными образцами графт-ПИ-ПМАК, т.е. этот образец по своей структуре (по параметру  $m$ ) соответствует «особой точке». С увеличением  $m$  величина оптической плотности в точке максимума (при  $\lambda_{max} = 245$  нм) на УФ-спектрах, снятых для образцов графт-ПИ-ПМАК, сначала уменьшалась, затем, начиная с  $m = 180$ , – практически не зависела от  $m$ , т.е. на основании спектральных данных точку  $m = 180$  также можно трактовать, как «особую точку».

### Ссылки

[1] Valueva S.V., Ivanov I.V., Volkov A.Ya., Vylegzhanina M.E., Borovikova L.N., Kutin A.A., and Yakimanskaya A.V. Selenium Nanoparticles Stabilized by Amphiphilic Molecular Brushes with Varying Degrees of Polymerization of Side Chains: Spectral and Structural-Morphological Characteristics // Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2024. Vol. 98, № 2. – P. 154-163.

УДК 615.45

## РАЗРАБОТКА НАНОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНОГО ПОЛИ(N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА)

**Власкина Е.Р.**, Лусс А.Л., Кушнерёв К.С., Кусков А.Н.

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»,  
г. Москва, ул. Героев Панфиловцев 20.  
E-mail: vlaskinaliza1502@gmail.com

На сегодняшний день одной из главных проблем медицины является непосредственное применение биологически активных веществ (БАВ) из-за ряда их ограничений: узкая область терапевтических доз и концентраций, плохая растворимость в водных средах, быстрая деградация вещества, а также риск его распространения в другие ткани организма помимо пораженного органа. Для создания эффективного лекарственного средства с точным нацеливанием и контролируемым выделением БАВ используют полимерные носители [1].

В данной работе в качестве системы доставки лекарств были использованы мицеллы на основе амфифильного поли(N-винилпирролидона) (ПВП) с концевой тиооктадецильной группой и молекулярной массой 6 кДа. Такая молекулярная масса обеспечивает подходящую критическую концентрацию агрегации и низкую токсичность полимера. В качестве БАВ использовали куркумин — природный полифенол, обладающий многими достоинствами, главным из которых является увеличенное поглощение опухолевыми клетками *in vitro* по сравнению со здоровыми. Ограничение его использования связано с низкой биодоступностью, низкой стабильностью в присутствии воздуха и УФ-излучения. Полученные наноразмерные частицы показали отличную инкапсуляцию куркумина благодаря гидрофильно-гидрофобному балансу полимера. Исследования *in vitro* и *in vivo* доказывают стабильность частиц в водных растворах, длительный профиль высвобождения БАВ, высокий уровень его поглощения клетками, а также отсутствие токсичности для здоровых клеток фибробластов, высокую токсичность для клеток глиобластомы [2]. Таким образом, можно заключить, что амфифильные наноразмерные частицы ПВП могут рассматриваться как перспективная система доставки лекарственных средств для лечения злокачественных опухолей

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №23-15-00468.

### Ссылки

[1] Штильман М.И. Полимеры в биологически активных системах // СОЖ. – 1998. - № 5. – С. 48-53.

[2] Toxicity Evaluation and Controlled-Release of Curcumin-Loaded Amphiphilic Poly-N-vinylpyrrolidone Nanoparticles: In Vitro and In Vivo Models / A.L. Luss, D.V. Bagrov, A.V. Yagolovich, E.V. Kukovyakina, I.I. Khan, V.S. Pokrovsky, M.V. Shestovskaya, M.E. Gasparian, D.A. Dolgikh, A.N. Kuskov // *Pharmaceutics*. – 2024. Vol. 16, № 8.

УДК 544.777

## ФОТОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РЯДА АМФИФИЛЬНЫХ ХЛОРИНОВ В КОМПЛЕКСЕ С ПОЛИВИНИЛОВЫМ СПИРТОМ

**Градова М.А.<sup>1</sup>, Старцева О.М.<sup>2</sup>, Яббаров Н.Г.<sup>3</sup>, Никольская Е.Д.<sup>3</sup>, Белых Д.В.<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup> *Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, 167001, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., д. 55*

<sup>3</sup> *Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4*

<sup>4</sup> *Институт химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, 167000, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 48  
E-mail: m.a.gradova@gmail.com*

Современные фотосенсибилизаторы хлоринового ряда являются перспективными агентами для фотодинамической терапии и фотодиагностики. Основной проблемой при применении в клинической практике является их склонность к агрегации в полярных средах, значительно снижающая их фотохимическую активность. Для стабилизации мономолекулярной формы хлоринов в водной среде применяют различные полимерные стабилизаторы, в частности, поли-N-винилпирролидон (ПВП), отличающийся высоким сродством по отношению к производным хлорофилла *a*. В данной работе рассмотрено комплексообразование ряда диэтиленгликольных производных хлорофилла с частично гидролизованным (87-90%) поливиниловым спиртом (ПВС) с молекулярной массой 30-70 кДа. В присутствии ПВС (0.1 – 1%) наблюдалось резкое возрастание интенсивности флуоресценции и увеличение фотодинамической активности хлоринов, обусловленное стабилизацией мономолекулярной формы при связывании с полимерной матрицей [1]. Аналогичное поведение наблюдалось у ряда родственных по структуре амфифильных производных хлорофилла *a* в водных растворах ПВС, причем присутствии экзотика в молекуле не оказывало заметного влияния на эффективность связывания с полимером. Максимальный эффект наблюдался при соотношении компонентов 1 мг хлорина на 3 г ПВС. В растворе близкого по структуре полимера - полиэтиленгликоля (ПЭГ,  $M_w = 40$  кДа) с близким значением вязкости раствора подобного эффекта не наблюдалось, что исключает аддитивное влияние вязкости на фотофизические процессы и позволяет предположить ключевую роль водородных связей, образованных гидроксильными группами ПВС, в связывании молекул хлоринов с полимерной матрицей.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Ссылки

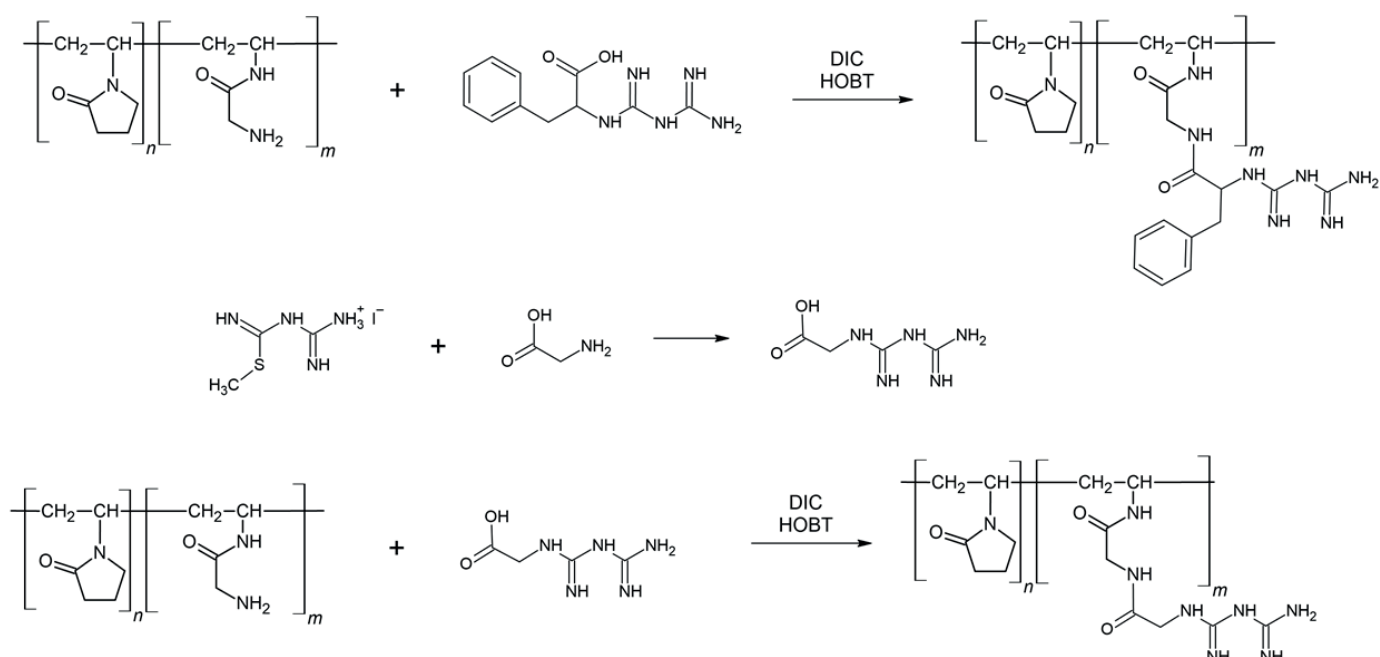
[1] Sokol, M. B., et al. Pharmaceutical approach to develop novel photosensitizer nanoformulation: an example of design and characterization rationale of chlorophyll  $\alpha$  derivative // *Pharmaceutics*. – 2024. – Vol. 16, №. 1. – P. 126.

## ПОЛИМЕРЫ-НОСИТЕЛИ ИНСУЛИНОМИМЕТИЧЕСКИХ БИГУАНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВАНАДИЯ

**Дубров Е.Н., Меркушева С.С., Иванов А.Г.**

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург  
E-mail: (evgonij@gmail.com)*

Соединения ванадия обладают потенциалом усиливать реакцию периферических тканей на инсулин, что может быть полезно в лечении сахарного диабета. Тем не менее, их использование сталкивается с такими проблемами как низкая биодоступность и высокая токсичность, обусловленные ограниченной абсорбцией ванадия в желудочно-кишечном тракте. Эти препятствия могут быть преодолены с помощью полимерных систем доставки, которые обеспечивают контролируемое высвобождение ионов ванадия, улучшая их терапевтическую эффективность и безопасность. В работе синтезированы полимеры-носители на основе сополимеров N-винилпирролидона с 2-амино-N-винилацетамидом, модифицированных N'-(карбамимидоилкарбамимидамо)уксусной кислотой и 2-(N'-карбамимидоилкарбамимидамо)-3-фенилпропановой кислотой, а так же комплексы ванадия(IV) на их основе. Поскольку бигуаниды сами по себе проявляют гипогликемическую активность, в случае комплекса с ванадием может наблюдаться синергетический эффект. Низкомолекулярные комплексы будут высвобождаться за счет ферментативного гидролиза пептидной связи в ЖКТ. Структура полученных соединений доказана методами ИК-, УФ- и <sup>1</sup>H ЯМР спектроскопии. Исследование высвобождения низкомолекулярных комплексов проводилось в присутствии пепсина и химотрипсина.



УДК 541.6+544.1

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПЕКТИНОМ НАНОАЛМАЗЫ ДЛЯ ФАРМАКОЛОГИИ

**Евлампијева Н.П.<sup>1</sup>, Везо О.С.<sup>1</sup>, Черечукин Д. С.<sup>1</sup>, Слободова Д.А.<sup>2</sup>,  
Панков С.А.<sup>2</sup>, Горшкова Р.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9

<sup>2</sup> Научно-исследовательский центр Фармацевтических и пищевых технологий, Дубна,  
141983 Московская обл., ул. Программистов 4с3  
E-mail: n.yevlampieva@spbu.ru

Включение в состав вакцин специальных соединений, называемых адьювантами, – одна из характерных тенденций в современной фармакологии. Эта тенденция связана с решением задач повышения эффективности вакцин для профилактики широко распространенных заболеваний. В последние годы в качестве адьювантов все чаще тестируются и применяются полимерные соединения и наночастицы различной природы [1, 2]. В данной работе, имея опыт использования наноалмазов и их полимерных комплексов для биомедицинских целей [3], мы провели исследование способности к комплексообразованию детонационных наноалмазов и пектиновых полисахаридов для дальнейшего применения этих гибридных объектов в качестве адьювантов. Детонационные наноалмазы (ДНА) перспективны для модуляции свойств фармакологических препаратов. Этому способствуют возможность легко проникать в клетки и высокая сорбционная емкость ДНА за счет специально созданной поверхности. Функция биосовместимого полисахарида в комплексе связана не только с модификацией поверхности ДНА, но и с препятствием агрегации углеродных частиц с исходно гидрофобной/амфифильной поверхностью. Для практического применения таких гибридных объектов необходимо было определить условия комплексообразования компонентов и изучить их гидродинамическое поведение, что и было целью первого этапа работы. В работе были использованы фракции пектинов с высоким содержанием (70-80%) галактуроновой кислоты ООО «Мезон» (г. Дубна), полученные в динамическом режиме методом гидролиз-экстинкции протопектинов из растительного сырья. Фракции были исследованы методами гидродинамики и светорассеяния, показавшими их стабильность и молекулярную дисперсность в области разбавленных растворов в изотонических условиях.

### Ссылки

- [1] Филиппенко А.В., Труфанова А.А., Иванова И.А., Омельченко Н.Д. Основные группы адьювантов и перспективы их использования //Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.– 2023. – Т. 100. – №3. – С. 237-246.
- [2] Cisneros J.S., Chain C.Y., María B. Rivas Aiello M.B. , Julieta Parisi, Daniel C. Castrogiovanni, Gabriela N. Bosio, Daniel O. Mártire, and María E. Vela. Pectin-Coated Plasmonic Nanoparticles for Photodynamic Therapy: Inspecting the Role of Serum Proteins //ACS Omega. – 2021. – 6. P. 12567–12576.
- [3] Kulvelis Yu., Lebedev V., Yevlampieva N., Cherechukin D., Yudina E. Enhancement of Singlet Oxygen Generation of Radachlorin® Conjugated with Polyvinylpyrrolidone and Nanodiamonds in fqueous Media. In *Green Photocatalytic Semiconductors*. Eds. S Garg and A. Chandra. Springer. – 2022. – P. 281-306.

УДК 544.773.43

## ПОРИСТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

**Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Кузнецов Н.М.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

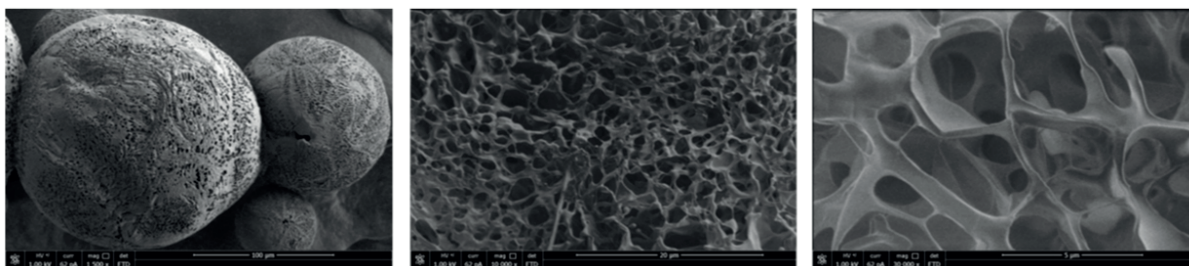
<sup>1</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
Москва, 123182 пл. Академика Курчатова 1*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, 117393 ул. Профсоюзная 70  
E-mail: zagos@inbox.ru*

Современный мир невозможно представить без композиционных материалов. Сочетания свойств входящих в состав компонентов открывают новые перспективы в различных областях науки и техники. В настоящей работе представлен простой и технологичный подход к получению пористых полимерных частиц – микроаэрогелей. Микрочастицы были получены методом сублимационной сушки замороженных капель полимерных растворов на основе лактидов и лактонов, хитозана, диацетата целлюлозы и других, полученных пневмораспылением в жидкий азот. В качестве примера на рисунке 1 представлены микрофотографии РЭМ для пористых микроаэрогелей полилактида. Показано, что получаемые по данной методике частицы обладают перспективами применения в различных областях, как гидрогелевых материалов для регенеративной медицины, так и стимул-чувствительных, в частности электрореологических жидкостей.

Гидрогели – уникальные материалы, востребованные во многих биомедицинских применениях. На сегодняшний день в данной отрасли уже используют гидрогели на основе коллагена, гиалуроновой кислоты, альгината натрия, обогащенной тромбоцитами плазмой и др. Однако к ключевым недостаткам таких систем можно отнести низкие значения модуля упругости, прочности, не подходящие реологические свойства для широкого круга приложений. Добавление пористых полимерных микроаэрогелей позволяет нивелировать данные недостатки. Кроме этого, разветвленная структура может являться контейнером для хранения и плавного высвобождения лекарственных форм, биологически активных молекул и др.

Показана эффективность применения разработанных частиц в электрореологических жидкостях. Благодаря низкой плотности и разветвленной структуре материалы обладают существенно большей седиментационной устойчивостью, а жидкости обладают контрастным изменением свойств при существенно меньшей концентрации наполнителя по сравнению с известными в литературе материалами.



**Рисунок 1.** РЭМ микрофотографии поверхности пористых частиц полалктида

### Благодарность

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ, проект 22-73-10081.



УДК 678.84

## СИНТЕЗ ОЛИГОМЕТИЛМЕТОКСИ(ЭТОКСИ)СИЛОКСАНА

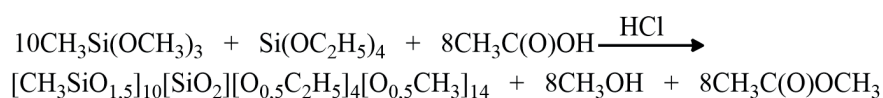
Иванов А.Г., Климова Н.В., Нацюк С.Н.

ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС», Москва, ш. Энтузиастов, 38

E-mail: nk20160412@gmail.com

Ацидогидролитическая поликонденсация (АГПК) алкилалкоксисиланов карбоновой кислотой, в присутствии каталитического количества минеральной кислоты, в зависимости от мольного соотношения алкилалкоксисилан : карбоновая кислота приводит к образованию полисилесквиоксанов линейного, разветвлённого, циклического, полициклического и полиэдрического строения [1,2].

Методом АГПК нами впервые был получен олигометилметокси(этокси)силоксан - олигомер К-101-О из метилтриметоксисилана и тетраэтоксисилана по схеме:



Состав олигометилметокси(этокси)силоксана, выделенного после отгона метанола с метилацетатом и вакуумирования на роторном испарителе, подтверждён спектроскопией ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{29}\text{Si}$ . Результаты анализа подтвердили полноту прохождения гидролиза-конденсации. Выход продукта составил 94,5%.

Олигомер К-101-О обладает следующими характеристиками (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики олигомера К-101-О.

Внешний вид	Прозрачная жидкость
Объёмная доля летучих веществ до 125°C, %, не более	1
рН неводного раствора	6,8
Массовая доля SiO <sub>2</sub> , %	60
Массовая доля метокси(этокси)-групп, %	39
50% раствор смолы К-101 в олигомере К-101-О при 15-35°C не должен желировать в течении 48 ч	выдерживает испытания

Олигомер К-101-О используется в качестве активного растворителя смолы К-101 при получении стеклопластиков, добавок к ЛКМ, а также в качестве вулканизирующего агента для герметиков на основе кремнийорганических полимеров.

### Ссылки:

- [1] Ivanov, A.G. A MALDI mass spectrometry investigation of the compositions of the products of the partial acidolysis of MeSi(OMe)<sub>3</sub> / A.G. Ivanov, V.M. Kopylov, V.V. Kireev and etc. // Polymer Science, Ser. B. - 2014. Vol. 56. № 1. - P. 49-54.  
 [2] Ivanov, A.G. Compositions and structures of oligosiloxanes forming during the partial acidolysis of PhSi(OMe)<sub>3</sub> / A.G. Ivanov, V.M. Kopylov, V.V. Kireev and etc. // Polymer Science, Ser. B. - 2015. Vol. 57. № 1. - P. 9-15.

УДК 577.323.3

## МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОДЕКАМЕРА ДИККЕРСОНА НА МИКРОСЕКУНДНЫХ ТРАЕКТОРИЯХ

**Ковалева Н.А.<sup>1</sup>, Ильичева И.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр химической физики им Н.Н. Семенова РАН,  
Москва, ул. Косыгина, 4*

<sup>2</sup> *Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгарда РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 32*

*E-mail: natkov@polymer.chph.ras.ru*

Мы представляем результаты молекулярно-динамического моделирования додекамера 5'd(CGCGAATTCGCG)3' (ДДД) на микросекундных траекториях в шести силовых полях: четыре версии серии Amber- parm99, bsc0, OL15, bsc1 и две версии Charmm - 27 и 36. Целью работы было выявление особенностей динамики фуранозных циклов дезоксирибозы в разных участках додекамера. Особенности N↔S интерконверсий могут быть причиной сиквенс-специфичности ультразвукового расщепления ДНК [1]. Оказалось, что независимо от выбранного силового поля, времена жизни N- и S-состояний и частоты N↔S интерконверсий зависят от типа динуклеотидов и их ближайшего контекста. Для детализации конформационного поведения ДДД мы сравнивали: содержание N-конформеров и распределение значений фазового угла в каждой позиции ДДД, относительную продолжительность одновременного N-состояния 5'-концевых нуклеотидов в центральных димерах тетрануклеотидов и относительную продолжительность одновременного пребывания в N-состоянии соседних по цепи нуклеотидов, частоты S→N переходов в каждой позиции ДДД и максимальное время жизни в N-области после S→N перехода. Оказалось, что соотношения их числовых показателей для разных позиций ДДД, полученные в разных силовых полях не одинаковы. Однако независимо от силовых полей динуклеотиды CpG и GpC, всегда занимают одинаковые позиции в этих рядах. Важно, что именно эти динуклеотиды имеют максимальное и минимальное значения интенсивностей ультразвукового расщепления [1, 2]. Это позволяет сделать вывод, что особенности динамики N↔S интерконверсии в разных позициях нуклеотидной последовательности являются определяющими в механизме ультразвукового расщепления ДНК.

### **Благодарность**

Вычислительные ресурсы предоставлены межведомственным суперкомпьютерным центром Российской академии наук.

### **Ссылки**

- [1] Grokhovsky S. L. et al. Sequence-specific ultrasonic cleavage of DNA //Biophysical journal. – 2011. – Т. 100. – №. 1. – С. 117-125.  
[2] Poptsova M. S. et al. Non-random DNA fragmentation in next-generation sequencing //Scientific reports. – 2014. – Т. 4. – №. 1. – С. 1-6.

УДК 677.014.82

## НОВОЕ В МОДИФИКАЦИИ ПРИРОДНОГО БИОПОЛИМЕРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ XXI ВЕКА

**Котельникова Н.Е.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург 199004, Большой пр., 31  
E-mail: nkotel@mail.ru*

Природный полимер целлюлоза, выделяемый из растительного сырья без участия человека и серьезных затрат материальных ресурсов, имеет уникальные свойства, которые позволили человечеству широко использовать ее в различных областях. Полученные путем химической модификации целлюлозы простые и сложные эфиры нашли применение в промышленности, медицине, фармацевтике. Созданы новые волокнистые и композиционные материалы на основе целлюлозы. В настоящее время в 21 веке исследования в области целлюлозы переживают настоящий бум. В последние годы успешно развивается ряд новых направлений модификации целлюлозы:

1. Исследования, идущие по пути усложнения условий модификации целлюлозы. Их развивают ведущие школы США, Японии, Китая, Великобритании.
2. Поиск новых растворителей целлюлозы и формирование волокон, чаще всего совмещенных с другими полимерами, из растворов. Эти исследования успешно проводятся в Великобритании, ФРГ и Китае.
3. Совмещение целлюлозы и ее эфиров с веществами другой природы, в том числе полимерными и неорганическими, для получения композиционных и гибридных материалов с новыми свойствами.

К числу перспективных методов модификации для получения новых материалов на основе целлюлозы относится применение целлюлозы в качестве матрицы для создания биологически активных материалов. Так, были созданы биологически активные полимерные системы целлюлозы и синтетических водорастворимых полимеров на основе N-винилпирролидона, а также конъюгаты целлюлозы, полученные при иммобилизации белков [1].

Использование целлюлозной матрицы в качестве среды для получения нанодисперсных частиц переходных металлов, в том числе нульвалентного серебра, позволило разработать не известные ранее нанотехнологические методы модификации целлюлозы и создавать целлюлозные материалы перспективные для применения в биомедицинских целях [2].

Одно из популярных в последние годы направлений исследования целлюлозы – получение гидрогелей на основе целлюлозы и их модификация. Это открыло новейшие возможности использования таких материалов для синтеза биологически активных и фармацевтических препаратов, катализаторов и вспомогательных средств для агротехники [3].

### Ссылки

- [1] Kotelnikova N.E., Lashkevich O.V., Panarin E.F. // Macromol. Symp. – 2001. №166. – P. 73-79.
- [2] Kotelnikova N.E., Wegener G., Paakkari T., et al. // Cellul. Chem. Technol. – 2002. №5-6. – P. 445-457.
- [3] Kotelnikova N., Mikhailidi A., Martakova J., et.al. // Cellul. Chem. Technol. – 2016. №5-6. – P. 545-555.

УДК: 66.095.26

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГИАЛУРОНАТА НАТРИЯ С ЛИНЕЙНЫМИ ПОЛИАКРИЛАТАМИ

**Крюкова Д.Е.<sup>1</sup>, Спиридонов В.В.<sup>2</sup>, Хомутов Г.Б.<sup>3</sup>, Таранов И.В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах, Ленинские Горы 1-73, 119991, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Ленинские Горы 1-3, 119991, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские Горы 1-2, 119991, Москва, Россия*

<sup>4</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ул. Моховая, 11, корп. 7, 125009, Москва, Россия  
E-mail: 1dkryukova@mail.ru*

Водосовместимые магнитные микрогели являются перспективными наноконтейнерами для адресной доставки лекарств. Однако введение магнитных наночастиц сопровождается понижением емкости загрузки наноконтейнеров, что обуславливает необходимость дополнительной функционализации микрогелей. Для решения указанной проблемы в работе проведена модификация магнитного микрогеля на основе гиалуроната натрия линейными полиакрилатами натрия (ПА).

В работе был синтезирован образец магниточувствительного нанокompозита на основе гиалуроната натрия в качестве матрицы, стабилизирующей магнитные наночастицы маггемита ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) в количестве 16,0 % вес. К полученному нанокompозиту добавляли водные растворы ПА с молекулярными массами, составляющими от 2,1 до 15 кДа.

Полученные системы были изучены методами ДРС, лазерного микроэлектрофореза, ИК-спектроскопии, турбидиметрического титрования, РФА, СЭМ, ПЭМ, магнитометрии. Установлено встраивание всех добавленных ПА в магнитный микрогель, приводящее к значительной дополнительной функционализации частиц нанокompозита. Определено число электростатических контактов с карбоксилатными группами, приходящихся на одну наночастицу маггемита в составе синтезированных образцов. Установлено увеличение эффективного размера наночастиц маггемита в модифицированных нанокompозитах по сравнению с исходным микрогелем, что свидетельствует о кластеризации магнитных наночастиц, обусловленной их взаимодействием с ПА. Обнаружено, что магнитные характеристики значительно изменяются при модификации нанокompозита полианионами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-12-00125). Исследования проводились в том числе с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН.

### Благодарность

Работа была выполнена в сотрудничестве с Алехиной Ю.А., н.с., МГУ им. М.В. Ломоносова, Перовым Н.С., д-р физ.-мат. наук, зав. каф., физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Кнотько А.В., д-р хим. наук, проф., факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова, Теплоноговой М.А., асп. 3 г/о, факультет наук о материалах, МГУ им. М.В. Ломоносова.

УДК 541.64

## ТЕМПЕРАТУРА СМЕШЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПВС И АГАРА КАК ФАКТОР РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОРИСТОЙ МОРФОЛОГИИ КРИОГЕЛЕЙ ПВС/АГАР

Власова В.А.<sup>2</sup>, [Курская Е.А.](#)<sup>1</sup>, Подорожко Е.А.<sup>1</sup>

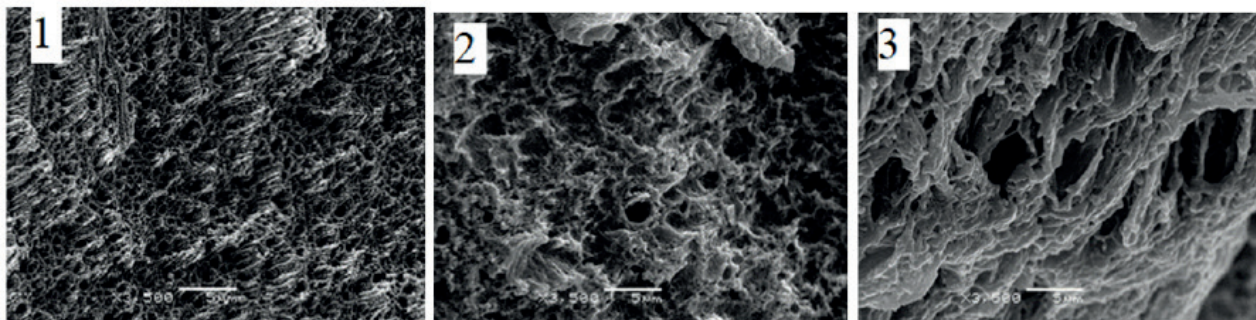
<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН*

<sup>2</sup> *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева*

*E-mail: kurskaya\_e@mail.ru*

Полимерные биосовместимые и биоразлагаемые макропористые криогели, наполненные наночастицами серебра, относятся к перспективным материалам для пролонгированной доставки противовоспалительных лекарственных препаратов в водной среде. На примере композиций поливинилового спирта (ПВС) и агара были сформированы макропористые криогели с регулируемым размером пор. Введение стабилизированных наночастиц серебра в смешанные растворы полимеров перед замораживанием приводит к формированию нанокомпозитных криогелей с пролонгированным выходом наночастиц в водные среды.

При охлаждении горячих водных растворов агара (0.5%) образуются гидрогели с размером пор до 460 нм. Однако, низкая влагоудерживающая способность агара вызывает синерезис его гидрогелей и криогелей, снижая их эластичность. При смешении агара с более гидрофильным полимером ПВС в соотношении не менее 1:10 этот недостаток устраняется. Кроме этого, было установлено, что размер пор смешанных криогелей можно варьировать путем изменения порядка смешения и температуры растворов полимеров перед их замораживанием. Так, смешение растворов полимеров 6% ПВС и 0.5% агара при 95°C приводит к последующему формированию криогелей с размером пор до 1 мкм (фото СЭМ 1), а предварительное выдерживание смеси растворов при 55°C приводит к формированию криогеля с размером пор до 3 мкм (фото 2). Раздельное выдерживание растворов ПВС и агара при 55°C и последующее их смешение перед замораживанием приводит к образованию криогеля с размером пор до 5 мкм (фото 3). Явления синерезиса в этих случаях не наблюдали.



Таким образом, установлено, что температура и порядок смешения растворов полимеров различной гидрофильности перед замораживанием оказывает влияние на морфологию получаемых криогелей.



УДК: 577.114.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ГИАЛУРОНАНОВ НА ПРОЦЕССЫ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

**Ли Е.Г.<sup>1</sup>, Лагутина Е.А.<sup>1</sup>, Жаворонок Е.С.<sup>1,2</sup>, Панов А.В.<sup>1,2</sup>, Кедик С.А.<sup>1,2</sup>**

*Аспирант, 1 курс аспирантуры*

<sup>1</sup>*МИРЭА – Российский технологический университет,*

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова,*

*Кафедра биотехнологии и промышленной фармации*

<sup>2</sup>*Акционерное общество “Институт фармацевтических технологий”*

*E-mail: li.ekga@yandex.ru*

Исследование термического разложения гиалуронанов различной молекулярной массы имеет практическое значение в области медицины, фармации и косметологии. Понимание процессов термического и термоокислительного разрушения гиалуронанов может быть ключевым для разработки более стабильных продуктов и поддержания целостности и эффективности продуктов на основе гиалуронана.

В рамках данной работы методами термического анализа были исследованы нативные гиалуронаны в широком диапазоне молекулярных масс от 11.2 до 1800 кДа, охарактеризованы процессы термической и термоокислительной деструкции испытуемых образцов.

**Цель исследования:** изучение закономерностей термодеструкции гиалуронанов и установление влияния окислительных процессов на возможность оценки молекулярной массы данных полисахаридов.

**Объекты исследования:** натриевые соли гиалуроновой кислоты в широком диапазоне молекулярных масс (ММ) (11.2; 20.2; 50, 1300, 1520, 1800 кДа), производства компании Xi'an Lyphar Biotech, Китай.

Исследования нативных гиалуронанов осуществляли методами термоанализа – дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК) на приборе Netzsch DSK 204 F1 (NETZSCH, Германия) в динамическом режиме при постоянной скорости нагрева 10 К/мин в среде азота или воздуха и термогравиметрией (ТГ) с масс-спектрометрической регистрацией летучих продуктов деструкции на комбинированной установке, состоящей из прибора синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия) и квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 Aëolos (NETZSCH, Германия), также в динамическом режиме с постоянной скоростью нагрева 10 К/мин в среде азота или воздуха.

В работе исследованы термофизические и спектроскопические свойства гиалуронанов. Методами ТГ, ДСК, масс-спектропии и ИК-фурье спектроскопии показано, что при температурах >200 °С в присутствии кислорода воздуха преобладают термоокислительные процессы, а в атмосфере инертного газа (азота) можно выделить узкий диапазон температур, в котором преимущественно протекают процессы деполимеризации макромолекулярной цепи гиалуронана. Определены условия характеристики этого диапазона температур и предложено простое уравнение для экспресс-оценки молекулярной массы гиалуронанов по их термофизическим свойствам.



УДК 541:64:547.538.141

## СИСТЕМЫ ТРИАЛКИЛБОРАН/МАКРОХИНОН В СИНТЕЗЕ ГИБРИДНЫХ СОПОЛИМЕРОВ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Лудин Д.В.<sup>1</sup>, Федюшкин И.Л.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> НГПУ им. К. Минина, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 7

<sup>2</sup> Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН,

Нижний Новгород, ул. Тропинина, д. 49

E-mail: [dymass@rambler.ru](mailto:dymass@rambler.ru)

В последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес к проблеме создания новых иницирующих систем для синтеза биоразлагаемых полиэфиров, таких как полилактид и полигликолид, и их сополимеризации с виниловыми полимерами. В данной работе предложен двухстадийный способ синтеза гибридных сополимеров с использованием 2,5-дигидроксибензохинона-1,4 (ДГБХ) и триалкилборана. На первой стадии предполагается проведение блочной полимеризации с раскрытием цикла лактона (*L*-лактид, гликолид), иницируемой ДГБХ в присутствии карбоксилатов натрия. Лабильность гидроксильных групп *n*-хинона обеспечивает быстрое иницирование полимеризации. Установлено, что полимеризация лактида при 110°C под действием ДГБХ и различных карбоксилатов натрия протекает в контролируемом режиме с образованием узкодисперсных полимеров (1.10 – 1.20). Получаемые таким образом макромолекулы содержат интернальный фрагмент ДГБХ, т.е. являются макрохиноном. Наличие звена ДГБХ в цепи полимера было однозначно установлено с использованием различных физико-химических методов анализа (ИК-, УФ-, ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия MALDI-TOF). Как известно, *n*-хиноны являются ингибиторами радикальной полимеризации, однако в присутствии триалкилборанов они теряют ингибирующие способности, за счёт протекания реакции S<sub>Н</sub>2-замещения. Аналогичный эффект был обнаружен и для макрохинонов. Использование макрохинона и триалкилборана в радикальной полимеризации стирола позволяет получать трёхлучевые звездообразные сополимеры. Продукты полимеризации характеризовались высокой молекулярной массой (~45 кДа), умеренной полидисперсностью (~1.50) и отсутствием окраски. В продуктах сополимеризации отсутствует непрореагировавший макрохинон, однако присутствует полистирол (до 8 мас.%). Полученный сополимер полилактид/полистирол проявляет меньшую склонность к хрупкому разрушению по сравнению с поли-*L*-лактидом.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства Просвещения РФ (№ 073-00034-23-00).

УДК 66.095.26

## ИОННО-СШИТЫЕ АЛЬГИНАТНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ ЛЕКАРСТВОМ: СТРУКТУРА, ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ РАСПАД И ЦИТОТОКСИЧНОСТЬ

**Лукманова А.Р.<sup>1</sup>, Спиридонов В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Факультет наук о материалах, Москва, Ленинские горы 1

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Химический факультет, Москва, Ленинские горы 1  
E-mail: lukmanovaalina@mail.ru

Одной из задач современной фармакологии является создание систем для контролируемой доставки и высвобождения лекарственных препаратов. Эта задача может быть решена с помощью контейнеров на основе природного полисахарида, способных контролируемо разрушаться под действием ферментов. Целью данной работы является синтез наноконструктов на основе альгината натрия, исследование их ферментативной устойчивости под действием специфичного (альгинат-лиаза) и неспецифичного (гиалуронидаза) ферментов, а также инкапсулирование полученных контейнеров противоопухолевым антибиотиком доксорубицином (Dox) и изучение цитотоксичности гидрогелей, нагруженных Dox.

Гидрогели синтезировали путем электростатического сшивания альгината натрия с катионами  $\text{Ca}^{2+}$  или  $\text{Mg}^{2+}$  в трех разных соотношениях звена альгината к сшивающему агенту: 15÷1, 10÷1 и 7÷1. Были изучены электрофоретическая подвижность частиц, гидродинамический диаметр и молекулярная масса гидрогелей, полученные с использованием динамического светорассеяния и статического светорассеяния соответственно. Действие ферментов, приводящих к распаду синтезированных наноконструктов, было изучено в физиологической среде методом динамического рассеяния света. Высвобождение Dox под действием ферментов было изучено с помощью метода УФ-спектрофотометрии. Биологическую активность Dox-загруженных тройных гидрогелей тестировали в отношении трех клеточных линий: HCT116, MCF-7 и hTERT-иммортиализованных фибробластов. Цитотоксичность тройных гидрогелей и свободного Dox оценивали в экспериментах *in vitro* с использованием стандартного МТТ-теста.

Таким образом, сшивка альгината натрия катионами  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Mg}^{2+}$ ) в водном растворе приводит к образованию гидрогелей, которые распадаются в физиологической среде под действием ферментов. Кроме того, гидрогели могут включать катионный противоопухолевый антибиотик Dox. Dox-содержащие гидрогели сохраняли или даже снижали свою токсичность по отношению к опухолевым и здоровым клеткам. Также установлено, что Dox-содержащие композиты под действием фермента высвобождают – 40% свободного Dox, а вторая половина остается в осколках гелей. Результаты работы могут быть использованы для конструирования контейнеров с целью инкапсуляции и доставки лекарств, а также контроля их взаимодействия с клетками.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке проекта № 23-23-00156

УДК 66.095.261

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОЙ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

**Магжанова А.И., Ладилова Н.Ю., Репина Е.С., Сивова О.А., Корниенко П.В.**

*АО «НИИ полимеров», г. Дзержинск Нижегородской обл., Россия, 606000*

*E-mail: orp5@nicp.ru*

Полиакриловая кислота (ПАК) благодаря комплексу физико-химических параметров находит широкое применение в современных технологиях получения различных гигиенических, медицинских, косметологических и стоматологических композиций. Выпускаемая крупнотоннажно в виде водного раствора ПАК имеет ряд существенных недостатков и ограничений, например, нестабильность реологических свойств (как при технологическом применении, так и при хранении), ограниченная возможность варьирования концентрации полимера в готовом растворе [1]. Указанные выше недостатки нивелируются за счет применения ПАК в виде обезвоженного порошка, однако существующие методы синтеза порошковой ПАК не нашли широкого применения по ряду технологических, экономических и экологических причин [2].

Поэтому разработка эффективной технологии полимеризации акриловой кислоты, обеспечивающей получение порошкообразной, безводной, стабильной при хранении ПАК с необходимым набором молекулярно-массовых и физико-химических свойств является в настоящий момент актуальной задачей.

За основу технологичного метода синтеза безводного порошкообразного ПАК применена растворо-высалительная полимеризация в среде органического растворителя (толуол, бензол, циклогексан, гексан и др.). При иницировании акриловой кислоты в диапазоне температуры 70 – 110°C органическими пероксидами и азоинициаторами в количестве 1 – 2 масс % (от мономера) в среде растворителя, установлено что добавка алифатического спирта C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> с в количестве до 15 масс % (от мономера) позволяет эффективно управлять молекулярно-массовыми параметрами получаемого полимера в диапазоне молекулярного веса 50 000 – 500 000.

Разработанный способ получения порошкообразной ПАК с применением системы смешанных растворителей позволяет достигать высоких конверсий мономера (более 95 %), а также эффективно регенерировать растворители за счет селективной отгонки с последующим их рециклом, что позволяет обеспечить снижение расходных норм по основному сырью и высокую экологичность технологии.

### Ссылки

- [1] Патент 2803497 РФ. Способ получения водных растворов полиакриловой кислоты с пониженным содержанием акриловой кислоты (опубл. 2023 г.)
- [2] Перистая Л.Ф., Перистый В.А., Павлов Н.А., Индина И.В., Япрынцева М.Н. Исследование влияния параметров процесса полимеризации акриловой кислоты на вязкость полиакриловой кислоты // Научные ведомости: Серия Естественные науки - 2010. - № 3 (74), С. 107-111.

УДК-547.022

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АКРИЛОВЫХ И МЕТАКРИЛОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**Мамадиёров Б.Н., Атаханов А.А.**

*Институт химии и физики полимеров АН Руз, г. Ташкент, ул. А Кадыри 7б.  
e-mail: b.mamadiyorov@mail.ru*

Наноцеллюлоза как биоразлагаемый и биосовместимый наноматериал вызывает большой научный практический интерес в биомедицине [1].

В данной работе были синтезированы акрилат и метакрилат наноцеллюлозы для получения новых мукоадгезивных полимерных материалов.

При исследовании ИК-спектров синтезированных акриловых и метакриловых производных наноцеллюлозы наблюдается полосы поглощения при  $3400\text{ см}^{-1}$ , валентных колебаний ОН групп, а также полоса поглощения при волновых числах  $1721\text{ см}^{-1}$  связанное с  $\text{C}=\text{O}$  сложноэфирных групп. Также наблюдается увеличение интенсивности пика при волновых числах  $1650\text{ см}^{-1}$ ,  $813\text{ см}^{-1}$  которые связаны с сопряженными связями ( $\text{C}=\text{C}$ ) [2].

АСМ исследования наноцеллюлозы (НЦ) показали, что частицы игольчатой формы имеют размеры по диаметру от 80 нм до 150 нм, а по длине от 200 нм до 500 нм. В результате реакции этерификации наблюдается рост диаметра до 200-350 нм, при этом по длине рост не наблюдается. По-видимому, этерификация образцов происходит по боковым группам с латеральной части НЦ и это приводит к увеличению размеров производных НЦ диаметрально.

При сравнении результатов рентгеноструктурного анализа НЦ и его производных наблюдалось частичное снижение степени кристалличности образцов от 88 % для НЦ, на 73 % для метакрилан наноцеллюлозы (НЦ-МАЦ) и на 63 % для акрилат наноцеллюлозы (НЦ-АЦ).

В процессе этерификации НЦ происходит частичное разрушения кристаллической структуры целлюлозы.

Акриловые и метакриловые производные наноцеллюлозы могут использоваться в качестве мукоадгезивных материалов для биомедицинских и фармацевтических применений.

### Ссылка

[1] Jorfi M., Foster E.J. Recent advances in nanocellulose for biomedical applications. J. Appl. Polym. Sci. 2015, Volume 132, issue 14, 41719/1–41719/19.

[2] Qian, Y., Han, N., Bo, Y., Tan, L., Zhang, L., & Zhang, X. (2018). Homogeneous synthesis of cellulose acrylate- g -poly (n -alkyl acrylate) solid–solid phase change materials via free radical polymerization. Carbohydrate Polymers, 193, 129–136. doi:10.1016/j.carbpol.2018.03.057

УДК 541.64:661.744.1:535.37

## СОПОЛИМЕРЫ ВИНИЛФОСФОНОВОЙ И П-МЕТАКРИЛОИЛАМИНОБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТ И ИХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ С ИОНАМИ ЛАНТАНОИДОВ

Некрасова Т.Н., Нестерова Н.А., Назарова О.В., Фишер А.И.,  
Золотова Ю.И., Панарин Е.Ф.

*ФГБУН Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, Большой пр., 31  
E-mail: Lab.2305@mail.ru*

(Со)полимеры винилфосфоновой кислоты (ВФК) нашли применение в качестве стоматологических цементов, гидрогелей для доставки лекарств, компонентов материалов каркасов костной ткани, они обладают высокой антимикробной и противовирусной активностью, в частности, в отношении коронавируса. Необходимым этапом разработки новых эффективных антимикробных и противовирусных препаратов является изучение их фармакокинетики и механизмов взаимодействия сополимеров с клетками, тканями и органами. Визуализировать эти процессы можно с помощью координационных соединений ионов Tb<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup>, которые благодаря своей люминесценции в видимом спектральном диапазоне являются перспективными зондами. В работе методом свободнорадикальной сополимеризации синтезированы новые сополимеры ВФК и п-метакриламидобензойной кислоты (МАБК), содержащие 15-67 мол.% МАБК, с молекулярной массой (6–21)×10<sup>3</sup>. С увеличением содержания винилфосфоновой кислоты в исходной реакционной смеси выход и молекулярная масса сополимера снижались. Синтезированные сополимеры образовывали растворимые стабильные люминесцирующие комплексы в разбавленных водных растворах с концентрацией полимера ≤ 0,007 мг/мл. Увеличение содержания звеньев ВФК в сополимерах приводит к значительному снижению интенсивности люминесценции, что связано с преимущественным связыванием ионов лантаноидов звеньями ВФК. Варьирование состава сополимера, его концентрации в растворе и концентрации ионов лантаноидов позволяет регулировать интенсивность люминесценции в соответствии с решаемыми задачами. Новые сополимеры могут рассматриваться как перспективные материалы для создания полимерных контрастных веществ, препаратов для радиоиммунотерапии и фотодинамической терапии.

УДК 541.64:544.18

## DFT ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТАВКИ ПРОТИВОВИРУСНЫХ ПРЕПАРАТОВ НАНОЧАСТИЦАМИ ХИТОЗАНА

**Нургалиев И.Н., Бурханова Н.Ж.**

*Институт химии и физики полимеров Ан РУз, Ташкент, Узбекистан, 100128, ул. А.Кадыри, 76  
E-mail: ilnarvodnik@gmail.com*

В течение последних 20 лет разрабатывался ряд полимерных систем на основе полисахаридов для введения и доставки лекарственных соединений, которые были безопасными, с иммуномодулирующими характеристиками и противовирусной эффективностью, в том числе для борьбы с коронавирусом.

Благодаря хорошей совместимости хитозана (ХЗ) с организмом человека и приемлемому уровню токсичности, в данной работе исследовали эффективность хитозана в адсорбции некоторых лекарственных соединений (ЛС) (гидрохинон, хлорохин, гидроксихлорохин, лопинавир, ремдесивир, ритонавир, ивермектин на основе теории функционала плотности (DFT). Комплексы ХЗ/ЛС были дополнительно оптимизированы с использованием метода B3LYP-D3(BJ)/6-311 + g(d,p) в водной среде, а ошибка суперпозиции базисного набора была исправлена коррекцией Бойса и Бернарди.

Результаты показали, что адсорбция ЛС на Хит осуществляется за счет образования водородных связей и значениями высокой энергии взаимодействия (-1012 ккал/моль) Во всех случаях взаимодействия происходили между заряженными аминогруппами цепи ХЗ и функциональными группами ЛС, как показали длины связей и порядки связи по Вайбергу между взаимодействующими атомами. Значения электронной плотности исследованных взаимодействий в пределах сотых долей, что указывает на слабый тип взаимодействия, соответствующие водородным связям. Анализ распределения лапласиана электронной плотности показал, что значения его положительны во всех случаях адсорбции. Также были рассчитаны дескрипторы реакционной способности. Во всех случаях химический потенциал комплексов находится в среднем диапазоне значений. Значения химической жесткости уменьшались при образовании комплексов по сравнению с исходным ХЗ. Показатель электрофильности комплексов близок к электрофильности ЛС, а химическая мягкость комплексов выше, чем у ЛС и цепи ХЗ. Уменьшение значений химической твердости ( $\eta$ ) во всех случаях показывает, что комплексы стали нестабильными и ЛС может высвободиться. Другими словами, исходя из значений химической твердости, можно сделать вывод, что образующиеся сложные структуры являются подходящими вариантами адресной доставки лекарств. Экспериментальные литературные данные показали совместимость наночастиц ХЗ с организмом человека, а также тот факт, что такие факторы, как рН, растворимость, ионная сила и т. д. влияют на контроль скорости высвобождения ЛС.



УДК 541.64:577.112.4

## СИНТЕЗ ТЕРПОЛИМЕРОВ ТРЕСКОВОГО КОЛЛАГЕНА, БУТИЛАКРИЛАТА И ВИНИБУТИЛОВОГО ЭФИРА В ПРИСУТСТВИИ ТРИЭТИЛБОРАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

**Пегеев Н.Л.<sup>1</sup>, Семенычева Л.Л.<sup>1</sup>, Часова В.О.<sup>1</sup>, Егорихина М.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, г. Нижний Новгород, 603022, пр. Гагарина, 23

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России, Россия, г. Нижний Новгород, 603005, пл. Минина и Пожарского, д.10/1.  
E-mail: nikita.pegeev@mail.ru

Коллаген является уникальным белком для создания материалов для регенеративной медицины благодаря биосовместимости, антимикробной, антиоксидантной активности и другим важным свойствам. При всех своих достоинствах коллаген имеет серьезный недостаток - фибриллярное строение, т.е. не обладает способностью к самоорганизации с образованием трехмерных пористых структур, что не позволяет его использовать в регенеративной медицине в качестве скаффолдов без модификации. Предлагаются разные пути решения получения трехмерных структур на основе коллагена, в том числе, получение композитов на основе коллагена с привитыми синтетическими фрагментами модификаторами трехмерной структуры [1].

В данной работе с целью модификации новые графт-сополимеры трескового коллагена с сополимером бутилакрилата и винилбутилового эфира в водной дисперсии получены в присутствии триэтилборана по радикальному механизму. Образование графт-сополимера проходит путем обычного инициирования за счет радикалов, образующихся при окислении триэтилборана остатками кислорода, борирования коллагена и обратимого ингибирования с участием борокисильного радикала [2]. Характеристики графт-сополимеров, полученные методами физико-химического анализа (ГПХ, СЭМ, ИК-спектроскопия и т.п.), цитотоксичности с использованием МТТ-теста, позволили выявить особенности их строения и состава, свидетельствующие о перспективности их использования как основы новых материалов для регенеративной медицины. Гидролиз графтсополимера коллагеназой и анализ выделенного привитого синтетического фрагмента методами ГПХ и ИК спектроскопии позволил констатировать, что в его состав входят фрагменты БА и ВБЭ.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках программы «Приоритет-2030» на оборудовании Центра коллективного пользования «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» (ННГУ им. Лобачевского).

### Ссылки

- [1] 12. Huang, W.-H.; Ding, S.-L.; Zhao, X.-Y.; Li, K.; Guo, H.-T.; Zhang, M.-Z.; Gu, Q. Collagen for neural tissue engineering: Materials, strategies, and challenges. *Mater. Today Bio.* 2023, 20, 100639, 10.1016/j.mtbio.2023.100639.
- [2] Kuznetsova, Y.L.; Sustaeva, K.S.; Mitin, A.V.; Zakharychev, E.A.; Egorikhina, M.N.; Chasova, V.O.; Farafontova, E.A.; Kobayakova, I.I.; Semenycheva, L.L. Graft polymerization of acrylamide in an aqueous dispersion of collagen in the presence of tributylborane. *Polymers.* 2022, 14, 4900.

УДК 544.77.03

## ДЕГИДРАТАЦИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА КАЛЬЦИЯ И ЖЕЛАТИНА

Погорелкина Е.А.

*Удмуртский государственный университет, Ижевск, ул. Университетская, 1.  
E-mail: ekaterina.biochem@gmail.com*

Гидрогели на основе альгината и желатина имеют большой потенциал применения в 3D-биопечати [1]. Для оптимизации параметров применения этих гидрогелей в качестве основы биочернил необходимо изучить их физико-химические свойства, в том числе влияние состава гидрогеля на его способность удерживать воду, поскольку из-за дегидратации могут изменяться механические характеристики 3D-биопечатных конструкций [2]. В данной работе была изучена дегидратация гидрогелей на основе альгината и желатина.

Для этого были приготовлены гидрогели разного состава, содержащие 1,5% (масс./об.) альгината натрия и: а) 1% (масс./об.) желатина; б) 2% желатина; в) 3% желатина; г) без добавления желатина. Реакцию поперечной сшивки альгината проводили с помощью 2,5% раствора  $\text{CaCl}_2$ . Все образцы находились в закрытых чашках Петри в одинаковых условиях температуры и влажности. Массу гидрогелей ежедневно измеряли с помощью лабораторных весов и впоследствии сравнивали изменение массы образцов с течением времени, которое было принято за следствие дегидратации, т.е. испарение воды.

Было обнаружено, что масса гидрогеля, содержащего 1,5% альгината и 1% желатина, уменьшалась медленнее, чем у остальных образцов, а значит, он терял воду с меньшей скоростью. Дегидратация гидрогеля, состоящего только из альгината, протекала несколько активнее, а быстрее всего воду теряли образцы, содержащие 2 и 3% желатина и альгинат.

В данной работе было показано, что при концентрации желатина в составе альгинат-содержащего гидрогеля от 2% и выше способность гидрогеля удерживать воду снижается. Это может быть связано с тем, что в составе желатина содержится большое количество неполярных аминокислот [3], снижающих его гидрофильность, и высокое содержание его в составе гидрогеля может снижать его способность удерживать влагу. Таким образом, работа демонстрирует влияние состава гидрогеля на скорость его дегидратации в нормальных условиях.

### Ссылки

- [1] Sonaye, S.Y. Extrusion 3D (Bio)Printing of Alginate-Gelatin-Based Composite Scaffolds for Skeletal Muscle Tissue Engineering / S.Y. Sonaye, E.G. Ertugral, C.R. Kothapalli, P. Sikder, // Materials. - 2022. - №15(22):7945  
 [2] Łabowska M.B. Influence of Cross-Linking Conditions on Drying Kinetics of Alginate Hydrogel / M.B. Łabowska, M. Skrodzka, H. Sicińska, I. Michalak, J. Detyna // Gels. - 2023. - №9(1):63  
 [3] Stevens P. Gelatine // Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents. - John Wiley & Sons, Ltd, 116-144. - С. 2009.

УДК 639.386.1

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ ГУБЧАТЫХ ИМПЛАНТОВ ИЗ КОЛЛАГЕНА ДЕРМАЛЬНЫХ ПОКРОВОВ БЕСЧЕШУЙЧАТЫХ РЫБ

**Позднякова Л.А., Грехнева Е.В., Ванина А.С.**

*ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», Курск, Радищева, 33  
E-mail: kil07ka@yandex.ru*

В коже бесчешуйчатых рыб содержится около 90% коллагена от массы всех белков. Уникальные физико-химические свойства такого коллагена определяют его широкий спектр применения в медицине в качестве коллагеновых губчатых имплантов.

Гемостатические губчатые имплантаты широко применяются в хирургии, стоматологии и других областях медицины. Основными направлениями их использования являются: остановка кровотечений, поддержка заживления ран, использование в реконструктивной хирургии, поддержка заживления костей. Коллагеновые губки могут быть эффективны во всех этих областях благодаря своим свойствам и способности ускорить процессы заживления и регенерации тканей.

Данная работа направлена на получение гемостатических губок на основе коллагена, полученного путём переработки кожи *Clarias gariepinus*, а также на изучение их физико-механических, сорбционных и эксплуатационных свойств.

В ходе выполнения работы был получен нативный коллаген II типа из кожи бесчешуйчатой рыбы, который рассматривали в качестве основного компонента для создания гемостатических губчатых имплантов. Губки получали путем лиофилизации свежевыделенного коллагенового геля с модификаторами. В работе применяли лиофильную сушилку Alpha 1-2 LD plus, производства MartinChrist (Германия), температура конденсора: -500С, вакуум: 0,012мбар. Помимо коллагена в состав губки входили сшивающий агент и пластификатор в различных массовых соотношениях. Введение указанных модификаторов позволило получить мягкие, эластичные губки, устойчивые к действию водных растворов продолжительное время. Полученная серия губок исследовалась на качество основных сорбционных свойств, таких как влагопоглощение и линейное набухание. Основные физико-химические свойства изучались методами ИК-спектроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии и электронной микроскопии. На основе этих данных выбраны оптимальные массовые соотношения компонентов в коллагеновом губчатом импланте.

### Ссылки

[1] Антипова, Л.В. Применении коллагеновых субстанций в отраслях экономики [Текст] / Л.В. Антипова К.В. Майорова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10, ч.4. – с. 601–604.

УДК 547:458

## СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ АЛЬДЕГИДСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИСАХАРИДОВ

**Пристромова Ю.И., Юркштович Т.Л., Голуб Н.В., Алиновская В.А., Костерова Р.И.**

*Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», г. Минск, ул. Ленинградская, 14  
E-mail: prystromyi@gmail.com*

Цель настоящей работы - получение наночастиц на основе альдегидсодержащих полисахаридов и оценка возможности их использования для создания наносомальных форм лекарственных веществ.

В качестве исходных полисахаридов использовали декстран ( $M_w$  70 кДа), картофельный крахмал, гидроксиэтилкрахмал ( $СЗ = 0.5$ ,  $M_w$  200 кДа).

В работе представлены результаты сравнительного исследования процесса окисления полисахаридов водным раствором периодата натрия при разном соотношении компонентов, времени и температуры реакции. Получены образцы со степенью окисления ( $CO$  – число окисленных звеньев, приходящихся на 100 D-глюкопиранозных циклов) в диапазоне от 10 до 40 %. Для синтеза наночастиц выбраны методы: самоорганизации и преципитации; последний заключался в осаждении полимера из его водного раствора в этанол или изо-пропанол. Исследовано влияние природы аминокислоты (додециламин (ДДА), октадециламин,  $\epsilon$ -аминокапроновая кислота, L-аргинин, триптофан), мольного соотношения аминокислоты:альдегидная группа ( $C=O$ ) на свойства наночастиц, полученных методом самоорганизации. Образцы характеризовали по содержанию низкомолекулярного вещества в составе наночастиц, их размеру, полидисперсности, значению Z-потенциала. Установлено, что азометиновые связи, образованные взаимодействием окисленного крахмала (ДАК), гидроксиэтилкрахмала (ДАГЭК) с  $CO \geq 20\%$  с аминокислотами, в процессе лиофильной сушки подвергаются последующей перегруппировке в комплекс Амандори, который приводит к значительной деструкции полисахаридов. Определены оптимальные условия формирования наночастиц наименьшего размера и полидисперсности (PDI): наноструктурирующий агент – ДДА, концентрация полисахарида в водном растворе – 1,0 %,  $CO$  – 18-25 %, мольное соотношение аминокислоты:  $C=O$  – 0.2 – 0.8. Установлено, что при указанных условиях введения ДДА в состав окисленных полисахаридов размер наночастиц ( $PDI \leq 0.3$ ) уменьшается в следующей последовательности: декстран (50-140 нм)  $\leq$  гидроксиэтилкрахмал (70–150 нм)  $<$  крахмал (130-200 нм). Для всех окисленных полисахаридов размер наночастиц, полученных методами самоорганизации (50-200 нм) меньше, чем размер частиц, полученных методом осаждения (110-630 нм).

Методами осаждения и самоорганизации синтезированы наносомальные формы темозоломида (содержание темозоломида – 10 - 40 %, средний размер частиц – 120-180 нм,  $PDI \leq 0.3$ ).

УДК 547.917+54.024+54.022

## СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА С СИНТЕТИЧЕСКИМИ ФРАГМЕНТАМИ ВИНИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНИЦИИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТРИЭТИЛБОР-КИСЛОРОД

**Продаевич В.В., Валетова Н.Б., Митин А.В., Семенычева Л.Л.**

*ФГАОУ ВО Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Россия, г. Нижний Новгород, 603022, пр. Гагарина, 23*

Природные биоматериалы, такие как коллаген и полисахариды, используют для создания ранезаживляющих материалов. Внедрение синтетических компонентов в структуру природного полимера позволяет контролировать механические свойства полученных гидрогелей, увеличивать их прочность и т.п.

На примере привитой полимеризации звеньев сополимеров алкил(мет)акрилат-винилбутиловый эфир на полисахарид пектин исследован триалкилборан, который участвует в иницировании процесса путем обычного иницирования за счет радикалов, образующихся при окислении триэтилборана остатками кислорода, борирования коллагена и обратимого ингибирования с участием бороксильного радикала [1]. Для получения сополимера в кипящую смесь водного раствора пектина в винилбутиловом эфире вводили аминный комплекс триэтилбор-гексаметилендиамин, после чего компенсационным методом вводили раствор активного мономера - алкил(мет)акрилата, содержащей метакриловую кислоту для выделения триэтилбора из комплекса. В результате синтеза из смеси, содержащей бутилакрилат, образовались три несмешивающиеся части: органическая, водная и между ними не растворяющаяся ни в одной из фаз «губка». В случае с метилметакрилатом в смеси образовались только две части: органическая и водная. Гравиметрический анализ показал, что «губка» представляет из себя смесь водорастворимых и органических полимеров в соотношении 50:50. Из водной фазы синтезов выделены графт-сополимеры пектин-метилметакрилат-винилбутиловый эфир и пектин-бутилакрилат-винилбутиловый эфир соответственно введенному акрилату. В сравнении с исходным пектином молекулярная масса водорастворимой фракции значительно возросла. Сопоставление ИК-спектра графт-сополимера пектин-метилметакрилат-винилбутиловый эфир с ИК-спектрами пектина и ИК-спектром пектин-метилметакрилат свидетельствует о том, что для нового полимерного образца наблюдаются все полосы, характерные для пектина, полиметилметакрилата и поливинилбутилового эфира. Лиофильно высушенные образцы пектина и графт-сополимера пектин-метилметакрилат-винилбутиловый эфир были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, который показал изменение структуры волокон пектина в результате его сополимеризации с сополимером метилметакрилат-винилбутиловый эфир. Новые полимеры содержат природные и синтетические фрагменты, обладающие упорядоченной структурой. Такие соединения перспективны в качестве основы для ранозаживляющих покрытий.

### Ссылки

[1] Kuznetsova, Y.L.; Sustaeva, K.S.; Mitin, A.V.; Zakharychev, E.A.; Egorikhina, M.N.; Chasova, V.O.; Farafontova, E.A.; Kobyakova, I.I.; Semenycheva, L.L. Graft polymerization of acrylamide in an aqueous dispersion of collagen in the presence of tributylborane. *Polymers*. 2022, 14, 4900.

УДК 539.199

## КОНФОРМАЦИЯ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИ-2-АЛКИЛ-5,6-ДИГИДРООКСАЗИНОВ

**Родченко С.В., Кирилэ Т.Ю., Козина Н.Д., Теньковцев А.В., Филиппов А.П.**

НИЦ «Курчатовский институт», Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., 31  
E-mail: srfm.rodchenko@gmail.com

Псевдо-полипептоиды – поли-2-алкил-5,6-дигидрооксазины (ПАОЗин) и поли-2-алкил-2-оксазолины (ПАОЗол) имеют хорошие перспективы для применения в медицинских приложениях. При этом, для ПАОЗин обнаружено увеличение связывания нерастворимых в воде лекарственных веществ по сравнению с ПАОЗол.

Цель работы – установление влияния строения блок-сополимеров поли-2-этил-5,6-дигидрооксазина (ПЭОЗин) с поли-2-изопропил-5,6-дигидрооксазином (ПИПОЗин) на их гидродинамические и конформационные свойства в разбавленных растворах и термочувствительность в водных растворах.

Показано, что ПЭОЗин-блок-ПИПОЗин являются гибкоцепными полимерами, длина сегмента Куна которых близка к 1.8 нм. Методами молекулярной гидродинамики и оптики изучены 6 образцов сополимеров, различающихся по составу [ПЭОЗин]/[ПИПОЗин]. Молекулярная масса  $M_w$ , гидродинамические размеры макромолекул  $R_{h-D}$  и характеристическая вязкость  $[\eta]$  представлены в Таблице 1.

**Таблица 1.** Молекулярно-массовые и гидродинамические характеристики сополимеров

Образец	$M_w$ , г·моль <sup>-1</sup>	Состав	$R_{h-D}$ , нм	$[\eta]$ , см <sup>3</sup> ·г <sup>-1</sup>	НКТР, °С
1	2300	1:2	1.3	8.8	39
2	3600	1:1.6	1.6	10.0	34
3	2480	1:1	1.7	6.3	41
4	3830	1:2	1.7	9.4	26
5	2830	5:1	1.8	7.0	60
6	4870	1:1	1.8	10.5	31

Термочувствительность водных растворов блок-сополимеров исследована методами светорассеяния и турбидиметрии. При нагревании зафиксирован фазовый переход, при этом макромолекулы агрегируют, формируя надмолекулярные структуры. Установлено, что с увеличением доли ПИПОЗин наблюдается уменьшение температуры фазового разделения  $T_1$  и НКТР. На этот эффект накладывается уменьшение  $T_1$  и НКТР с ростом молекулярной массы блок-сополимеров.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-00205, <https://rscf.ru/project/23-13-00205/>



УДК 547.96:547.02/.022

## СИНТЕЗ ФИБРИЛЛЯРНЫХ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ПУТЕМ ФОТОКАТАЛИЗА ВИДИМЫМ СВЕТОМ

**Румянцева В.О., Семенычева Л.Л., Фукина Д.Г., Валетова Н.Б., Сулейманов Е.В.**

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, 603950, Россия  
E-mail: tchasowa.vika@yandex.ru*

Наличие трёхмерной структуры макромолекул является необходимым условием для формирования гелей и придает им ряд свойств, которые предопределяют их практическую значимость. В настоящее время предпочтительнее имеют разработки биodeградируемых и биосовместимых композитных структурированных материалов на основе природных полимеров для применения их в медицине и фармацевтике. Главное преимущество таких материалов — это уникальное сочетание свойств их компонентов, собранных в определенную структуру. К достоинствам нового материала добавляется экологическое преимущество исходного компонента - природное возобновляемое сырье, чаще всего отходы производств, и перспективность широкого использования в самых различных областях. Ранее в наших исследованиях были получены и охарактеризованы привитые сополимеры ММА на тресковый коллаген с использованием фотокатализа в присутствии сложного оксида  $\text{RbTe}_{1,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_6$ , как перспективного реагента зеленой химии [1], однако данные графт-сополимеры можно рассматривать только как прекурсоры биodeградируемых материалов, т.к. они не обладают механической стабильностью. Поэтому целью исследования явилось получения устойчивых фибриллярных гелей на основе трескового коллагена и ММА путем добавления модификаторов акрилатных фрагментов и белковых субстратов. По результатам элементного анализа и сканирующей электронной микроскопии введение сшивающих агентов приводит к образованию привитого сополимера, а нейтрализация реакционной смеси после синтеза приводит к коагуляции полимерного продукта с образованием геля. Именно такой фибриллярный гель как основа востребован в медицинской и фармацевтической промышленности как основа для получения пленок, капсул, блистеров, раневых покрытий и компонентов, а также в скаффолд-технологиях.

### Благодарность

Данное исследование было профинансировано Министерством образования и науки РФ (задание FSWR-2023-0024) с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Новый Материалы и ресурсосберегающие технологии” (ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

### Ссылки

[1] Semenycheva, L.L. Synthesis of polymethyl-methacrylate–collagen-graft copolymer using a complex oxide  $\text{RbTe}_{1,5}\text{W}_{0,5}\text{O}_6$  photocatalyst / L.L. Semenycheva, V.O. Chasova, D.G. Fukina [et al.] // Polym. Sci. Ser. D. – 2022. Vol. 15. – P. 110-117.

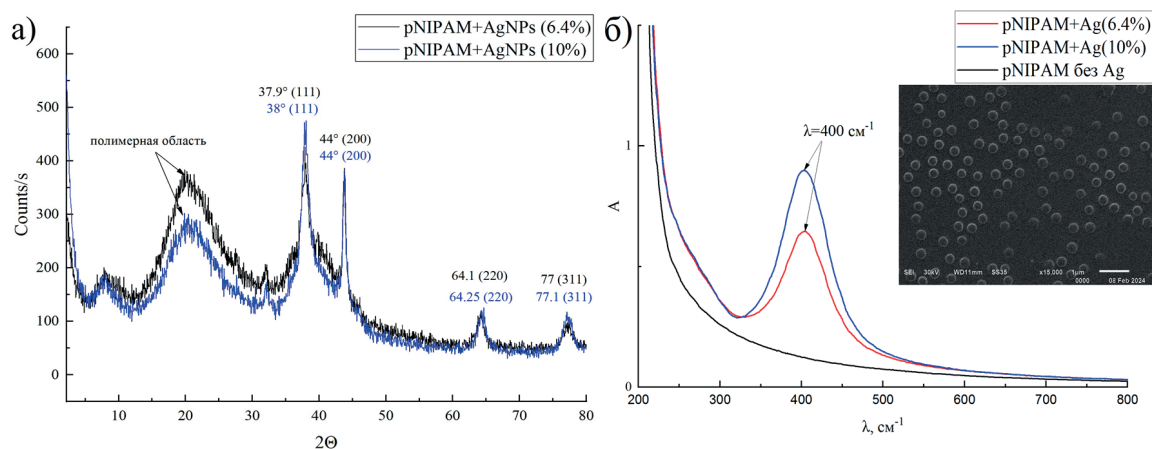
## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИ-N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

**Самотина И.Ю., Куцев П.О., Шестаков А.С.**

ФГБОУ ВО ВГУ, Россия 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1  
E-mail: irinasamotina@yandex.ru

Методом осадительной радикальной полимеризации получены микрогели поли-N-изопропилакриламида (pNIPAM). Гибридные дисперсии с серебряными наночастицами (AgNPs) синтезированы в два этапа посредством адсорбции ионов  $Ag^+$  из раствора его нитрата и их дальнейшего восстановления до металлического состояния боргидридом натрия. Получено два вида композитов «полимер-металл» – 6.4 и 10.0 масс. % AgNPs от массы полимера. Присутствие кристаллического серебра подтверждено рентгеновской дифракцией (рис.1а) и методом спектроскопии УФ и видимого диапазона. Снимки, полученные сканирующей электронной микроскопией (SEM), обнаружили высокую монодисперсность гибридных микрогелей pNIPAM+AgNPs (см. рис.1б), что также подтверждено динамическим светорассеянием.

Экспериментально показано, что дисперсии pNIPAM+AgNPs обладают высокой устойчивостью к седиментации на протяжении длительного времени в отличие от коллоидного серебра в отсутствие полимерной матрицы. Такое поведение в сочетании с биосовместимостью и термочувствительностью pNIPAM делает подобные системы перспективными для разработок в области биомедицины, например, при конструировании новых микро-носителей лекарственных препаратов или субстрата для клеточных культур. Добавление же наночастиц серебра дополнительно придает подобным композитам высокую бактерицидную активность.



**Рисунок 1.** а) Рентгеновская дифрактограмма гибридных микрогелей pNIPAM+AgNPs;  
б) УФ-спектры и SEM-изображение композитов «полимер-металл»

УДК 544.722.14: 577.114: 577.334: 615.27

## АМФИФИЛЬНЫЕ ХИТОЗАН–ПОЛИАМИНОКСИЛЫ, НАГРУЖЕННЫЕ ДАУНОРУБИЦИНОМ: СИНТЕЗ, АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ *in vitro*

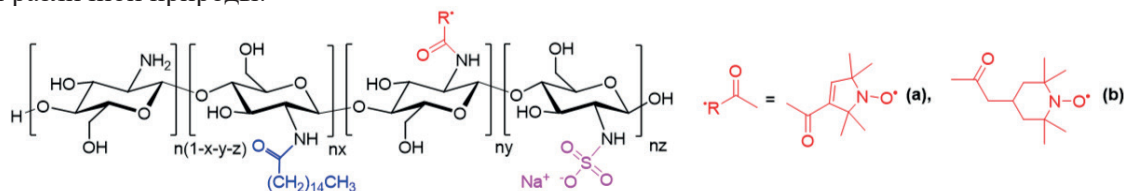
**Сень В.Д.<sup>1,2</sup>, Балакина А.А.<sup>1,2</sup>, Тихонов И.В.<sup>2</sup>, Плисс Е.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, 142432 Черноголовка, Московская обл., просп. акад. Семенова, 1.

<sup>2</sup> Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 150000 Ярославль, ул. Советская, 14

E-mail: [senvd@icp.ac.ru](mailto:senvd@icp.ac.ru)

Присоединение аминоксиллов к полимерам расширяет их потенциал в качестве антиоксидантов и репортажных групп и создает материалы с новым качеством. В данной работе получены и охарактеризованы несulfатированные и sulfатированные водорастворимые амфифильные хитозаны и гликоль-хитозаны с критической концентрацией мицеллообразования 0.02–0.05 мг/мл в которых от 13 до 24% аминокликозидов связаны с аминоксиллами различной природы.



Спектры ЭПР хитозан-полиаминоксиллов (ХПА) зависят от жесткости связи радикал-полимер и структурных изменений при N-сульфатировании хитозана. ХПА демонстрируют антиоксидантную емкость/активность в трех тестах против активных форм кислорода (АФК) различной природы. Заряд мицелл и структура аминоксиллов существенно влияют на антиоксидантные свойства ХПА. ХПА нетоксичны ( $IC_{50} > 0.8$  мМ аминокликозидов) в отношении опухолевых (HepG2, HeLa, A-172) и неопухолевых (Vero) клеток. Сульфатированные ХПА обладают лучшей водорастворимостью, эффективно связывают и удерживают противоопухолевый антибиотик даунорубин (Dau). Для разных линий клеток нагруженные мицеллы ХПА (ХПА-Dau) демонстрируют  $\approx 1.5$ –4-кратное потенцирование цитотоксичности Dau. В отличие от свободного Dau, ХПА-Dau подавляют образование АФК в нормальных клетках FetMSC и активируют в опухолевых HepG2. Полученные данные демонстрируют способность ХПА функционировать как биологически активные средства доставки лекарств [1].

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (грант № 20-13-00148).

### Ссылки:

[1] Sen', V.D., Balakina, A.A., Stupina, T.S., Mumyatova, V.A., Kulikov, A.V., Tikhonov, I.V., Terent'ev, A.A., Pliss, E.M. // Int. J. Biol. Macromol. – 2021. Vol. 193. – P. 965.

УДК 615.453.43

## РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАГНИТНЫХ МИКРОКАПСУЛ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Сиротенко С.С.<sup>1,2</sup>, Криворотов Д.В.<sup>2</sup>, Попова Е.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека (ФГУП «НИИ ГПЭЧ» ФМБА России), Ленинградская область, Всеволожский м.р-н, Кузьмоловское г.п., гп Кузьмоловский, ул. Заводская, зд. 6/2, корп. 93

E-mail: [sofisirotenko@yandex.ru](mailto:sofisirotenko@yandex.ru)

При доставке биологически активных соединений наблюдаются две основные проблемы: низкая биодоступность и высокая токсичность веществ [1]. Таким образом, целью данной работы является разработка и испытание системы доставки с контролируемым высвобождением биологически активных соединений для повышения их биодоступности и снижения нежелательного воздействия на организм.

Полимерные микрокапсулы изготавливаются путем попеременного нанесения слоев полимеров на ядро, которое затем будет удалено, оставляя полые сферы. Полимерная стенка образуется методом полиэлектролитной сборки (Layer-by-Layer) за счет макромолекулярных взаимодействий между различными полимерами [2].

Представленная система доставки может быть легко видоизменена. В зависимости от доставляемого лекарства и конечного места действия можно варьировать толщину полимерной оболочки, способ загрузки веществ, а также дополнительно модифицировать капсулы для повышения эффективности загрузки, упрощения процессов создания и изучения капсул и неинвазивной активации высвобождения [2].

В данной работе были использованы 2 вида полимеров: РАН (полиаллиламин гидрохлорид) и PSS (полистирол сульфонат натрия). Они связываются друг с другом при помощи электростатических взаимодействий и образуют прочную структуру, способную выдержать кислую среду желудка. Капсулы были модифицированы путем добавления оксида железа (III) между полимерными слоями для возможности активации высвобождения при воздействии магнитным полем.

Полимерные микрокапсулы являются перспективной системой доставки лекарств, т.к. создаются из биосовместимых материалов, не требуют сложных и дорогостоящих методов и легко модифицируются под конкретное соединение для наилучших результатов [1, 2].

### Ссылки

[1] De Cock LJ, De Koker S, De Geest BG, Grooten J, Vervaeke C, Remon JP, Sukhorukov GB, Antipina MN. Polymeric multilayer capsules in drug delivery. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2010 Sep 17;49(39):6954-73. doi: 10.1002/anie.200906266. PMID: 20645362.

[2] Dmitrii S. Linnik, Yana V. Tarakanchikova, Mikhail V. Zyuzin, Kirill V. Lepik, Joeri L. Aerts, Gleb Sukhorukov & Alexander S. Timin (2021) Layer-by-Layer technique as a versatile tool for gene delivery applications, *Expert Opinion on Drug Delivery*, 18:8, 1047-1066, DOI: 10.1080/17425247.2021.1879790

УДК 577.1:543.422.27

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА НА ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ЦИСТЕИН-СЕРЕБРЯНОГО РАСТВОРА

**Смирнова К.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.**

*Тверской государственной университет, Тверь, Садовый пер., д.35*

*E-mail: shuhina.kseniya@yandex.ru*

Самоорганизация лежит в основе получения большого количества многокомпонентных систем из динамич-ных простых молекул. Ранее были синтезированы тиксотропные супрамолекулярные гели (СМГ) на основе L-цистеина и нитрата серебра, обладающие антибактериальными и фоточувствительными свойствами [1,2]. В силу того, что данные растворы и СМГ состоят из низкомолекулярных составляющих, из них не удается получить пленки. Введение в водный цистеин-серебряный раствор (ЦСР) водорастворимого полимера, такого как поливиниловый спирт (ПВС), должно придать системе прочность и пленкообразующие свойства. Предполагается, что полученные системы могут быть использованы в качестве бактерицидных пластырей и повязок. Однако раствор ПВС при концентрации  $\geq 5\%$  обладает высокой вязкостью, а при  $\geq 10\%$  способен формировать прочный физический гель, что может препятствовать проявлению уникальных свойств СМГ при низких кон-центрациях ЦСР.

Поэтому целью настоящей работы являлось создание модельных систем на основе водных растворов L-цисте-ина, нитрата серебра и ПВС при различных концентрациях полимера, а также изучение механических свойств и фоточувствительности полученных растворов. Рабочие концентрации водных растворов цистеина и  $\text{AgNO}_3$  – 0.01 М, ПВС – 1 и 2% (от 0.2 до 1.6 % масс. в конечном растворе). Электронные спектры регистрировали с помощью спектрометра «EvolutionArray». Вязкость образцов измеряли на вибрационном вискозиметре SV-10.

Обнаружено, что при концентрации ПВС в растворе  $\leq 0.2\%$  формируется СМГ, обладающий тиксотропными свойствами, а при концентрации  $\geq 0.5\%$  явление тиксотропии исчезает и появляется возможность получить плен-очный образец. Чем выше содержание полимера в растворе, тем выше их упруго-прочностные характеристики.

### **Благодарность**

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования Тверского государственного университета

### **Ссылки**

[1] Pakhomov P.M., Khizhnyak S.D., Lavrienko M.V., Ovchinnikov M.M., Nierling W., Lechner M.D. // Coll. J. 2004. V.66. № 1. P.65.

[2] Пахомов П.М., Хижняк С.Д., Овчинников М.М., Комаров П.В. Супрамолекулярные гели. Тверь: ТвГУ. 2011. 269 с.

УДК 547.458+615.273.53

## АЛЬГИНОВАЯ КИСЛОТА, МОДИФИЦИРОВАННАЯ ФРАГМЕНТАМИ ЭТИЛЕНДИАМИНА – ГЕМОСОВМЕСТИМАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

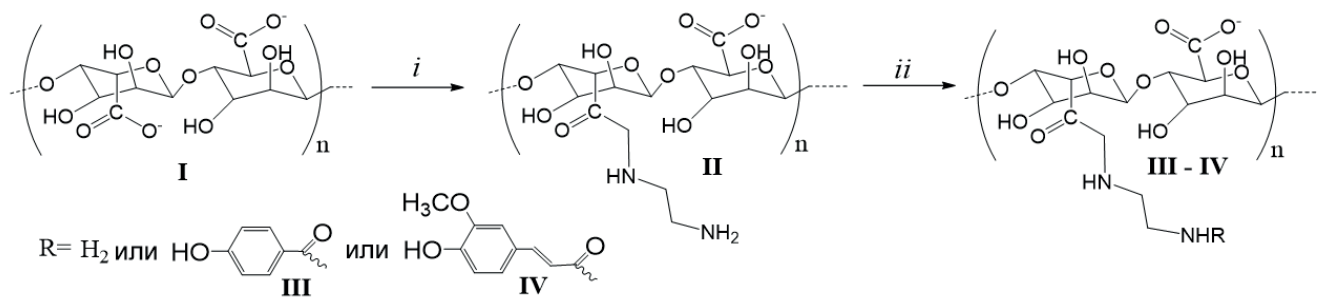
**Торлопов М.А.<sup>1</sup>, Дрозд Н.Н.<sup>2</sup>, Шевченко О.Г.<sup>3</sup>, Удоратина Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт химии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН, 167000, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 48  
E-mail: torloпов-ma@komisc.ru*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 125167, Москва, Новый Зыковский проезд, д. 4*

<sup>3</sup> *Институт биологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН, 167000, Республика Коми, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28*

Производные альгиновой кислоты (I), содержащие эквимольное количество амидных и аминогрупп (Альг-ДЭА, II) со степенью замещения до 0.2 синтезированы присоединением этилендиамина к активированным карбодиимином карбоксильным группам полисахарида (рис., стадия *i*). Методами вискозиметрии в комбинации с динамическим рассеянием света и потенциометрическим титрованием показано, что в водных растворах при изменениях pH и ионной силы Альг-ДЭА образует более стабильные ассоциаты по сравнению с альгиновой кислотой. Установленная концентрации кроссовера  $C^*$  для Альг-ДЭА ниже, а энергия активации вязкого течения  $E_a(\eta)$  растворов  $>1.0$  г/дл выше, чем экспериментально определённая для альгината натрия. Гемосовместимость Альг-ДЭА исследована *in vitro* в тестах времени рекальцификации крови, активированного частичного тромбопластинового времени и агрегации тромбоцитов. Показано отсутствие влияния Альг-ДЭА на коагуляцию крови (в концентрациях 0.033 и 2.22 мг/мл), плазмы (в концентрации до 0.0465 мг/мл) и на агрегацию тромбоцитов (в концентрации до 0.182 мг/мл).



**Рисунок.** Схема синтеза Альг-ДЭА-ФС: *i* - H<sub>2</sub>O, карбодиимид, 24 ч, 25 °С; *ii* - H<sub>2</sub>O, карбодиимид, 24 ч, 40 °С.

На второй стадии (рис., *ii*) свободные аминогруппы Альг-ДЭА использованы для присоединения природных биологически активных соединений: гидроксibenзойной и феруловой кислот (III - IV). В концентрации 0.5 мг/мл Альг-ДЭА обладают статистически значимой мембранопротекторной активностью в моделях окислительного гемолиза. Снижение молекулярной массы и введение фрагментов фенольных кислот дополнительно усиливает эту активность.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках госзадания Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номер госзадания 122040600027-6).



УДК 577.322

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА С МОЧЕВИНОЙ В РАСТВОРАХ ХЛОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Федотова Е.В., Пастон С.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Университетская наб., д. 7–9  
E-mail: st077318@student.spbu.ru*

Изучение механизма сворачивания и разворачивания белка остается актуальным в настоящее время. Сывороточный альбумин – наиболее распространенный водорастворимый белок плазмы крови, транспортирующий большинство экзо- и эндогенных соединений и поддерживающий осмотическое давление крови. Он доступен и хорошо изучен [1]. Катионы щелочных металлов являются важной составляющей многих биологических процессов. Характер и сила взаимодействия ионов щелочных металлов с биологическими макромолекулами различаются из-за небольшой разницы их гидратных оболочек [2]. Даже относительно слабые неспецифические ион-белковые взаимодействия могут оказывать воздействие на структуру и функции белка, влиять на его стабильность и способность формировать межмолекулярные комплексы. Поэтому интересно изучить влияние ионов на структуру и стабильность бычьего сывороточного альбумина (БСА) в водном растворе.

В данной работе исследуется структура БСА в водных растворах при варьировании концентрации LiCl, NaCl, KCl в диапазоне  $10^{-3}$  – 3 М, а также в присутствии мочевины. Изучение третичной структуры БСА проводилось методами УФ поглощения и собственной флуоресценции белка. Наблюдался рост интенсивности поглощения и снижение интенсивности испускания при концентрации катионов более 0,15 М, что свидетельствует о нарушении третичной структуры БСА при взаимодействии белка с ионами. Комплексообразование также подтверждается опытами по измерению дзета-потенциала – заряд БСА достигает 0 при  $[Li^+] = 10^{-2}$  М,  $[K^+] = [Na^+] = 10^{-1}$  М. Сдвиг полосы Амид I в ИК спектре БСА говорит об изменении вторичной структуры белка. Денатурация альбумина в растворах хлоридов щелочных металлов наступает при меньшей концентрации мочевины, чем в водном растворе. Можно предположить, что ионы дестабилизируют нативную структуру БСА и вносят вклад в плавление глобулы, образуя ионные связи с заряженными группами белка, которые становятся доступными на начальных этапах разворачивания БСА при небольших концентрациях мочевины.

### **Благодарность**

Часть исследований проведена с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ "Оптические и лазерные методы исследования вещества".

### **Ссылки**

- [1] Peters Jr T. All about albumin: biochemistry, genetics, and medical applications // Academic press. – 1995.  
[2] Sigel A., Sigel H., Sigel R. K. O. The Alkali Metal Ions: their Role for Life. Preface to Volume 16 //Metal ions in life sciences. – 2016. – Т. 16. – С. vii-xi.

## ПОРИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ С КАРБОНАТГИДРОКСИАПАТИТОМ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

**Форысенкова А.А.<sup>1</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>2</sup>, Антонова О.С.<sup>1</sup>, Егоров А.А.<sup>1</sup>, Фадеева И.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Химический факультет, Москва, Россия

E-mail: aforysenkova@gmail.com

В настоящее время в области медицинского материаловедения активно ведутся разработки материалов, удовлетворяющих требованиям регенеративной медицины [1]. Регенеративный подход основан на том, что организм может самостоятельно восстанавливать поврежденные ткани при создании соответствующих условий [1,2], в хирургии костной ткани – это заполнение костного дефекта матриксом – носителем клеточных культур и факторов роста, необходимых для регенерации. Для таких задач материалы должны обладать высокой пористостью для пролиферации и миграции клеток вглубь материала, достаточной механической прочностью. В настоящей работе представлен композиционный материал, который потенциально может применяться в данной области. Полимерная матрица, представленная сочетанием поливинилпирролидона (П) и альгината натрия (А), биосовместима и биорезорбируема. Минеральный компонент композита – карбонатгидроксиапатит (КГА) – является близким по своему составу к минеральной составляющей костной ткани [2].

Получены пористые композиционные матриксы (далее ПАК) с полимерной матрицей из Алг и ПВП и минеральным наполнителем КГА. КГА был синтезирован *ex situ* и охарактеризован методами рентгенофазового анализа (РФА) и ИК-спектроскопии. Были исследованы реологические свойства исходных композиционных гелей, методом СЭМ – микроструктура материалов, гидростатическим взвешиванием – пористость, были измерена механическая прочность материалов при сжатии.

По данным РФА и ИК-спектроскопии, полученный КГА имеет структуру апатита без примесей других фаз, являясь при этом КГА смешенного А,Б-типа.

Измеренные кинематическая и динамическая вязкости гелей смеси полимеров и композиционных гелей показало, что введение порошка КГА в количестве до 40 %мас. приводит к снижению вязкости. Введение 50 %мас. КГА вновь приводит к увеличению вязкости. Микроструктура композитов альгинат-поливинилпирролидон-КГА (далее ПАК) представлена разноориентированными макропорами сложной формы. Частицы КГА распределены в стенках пор. При сжатии поры без разрушения приобретают единую ориентацию в направлении, перпендикулярном направлению сжатия. Композиты ПАК имеют пористость 70–95 об. % в зависимости от содержания КГА: 10 мас. % КГА – 95 об. %, 40 мас. % КГА – 70 об. %, 50 мас. % КГА – 85 об. %. Характер кривой сжатия, модуль сжатия, предельное напряжение, необходимое для сжатия образцов на 80%, не значительно меняются для композитов с содержанием КГА от 0 до 30 %мас. При содержании КГА 50 мас. % данные показатели увеличиваются на порядок. Кривые образцов с содержанием КГА 40 и 50 мас. % имеют площадку, соответствующую уплотнению материала.

МТТ-тест и испытания *in vitro* показали, что материалы ПАК не являются токсичными, а спустя сутки культивирования стволовых клеток пульпы зуба человека на поверхности материала наблюдается значительная их пролиферация.

### Ссылки

[1] Yu, Y., Wang, Q., Wang, C., Shang, L. Living materials for regenerative medicine// Engineered Regeneration. 2021. V. 2. PP. 96-104.

[2] Safronova, T. V. Inorganic materials for regenerative medicine// Inorganic Materials. 2021. V. 57. Iss. 5. PP. 443-474.

УДК 541.64:665.941.1

## АЛКИЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ГУАРОВОЙ КАМЕДИ И ИХ ВЯЗКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Шестаков А.С., Мозговая С.А.**

*Воронежский государственный университет,  
394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1  
E-mail: shestakov@chem.vsu.ru*

Гуаровая камедь – природный полисахарид, характерной особенностью которого является высокая вязкость водных растворов. Тем не менее, в некоторых случаях она нежелательна и существует необходимость ее уменьшить. Цель может быть достигнута введением неполярных алкильных заместителей.

Для модификации использовали коммерческий образец с молекулярной массой  $2.4 \cdot 10^6$ . Для расчета молекулярной массы были использованы значения  $K = 3.6 \cdot 10^{-4}$  и  $a = 0.714$ . Реакцию этерификации проводили в присутствии стехиометрического, по отношению к повторяющемуся звену полимера, количества алкилиодида и небольшого избытка гидроксида натрия в смеси вода-*t*-бутанол при 35–40°C в атмосфере аргона.

Модификация приводит к изменениям в ИК-спектрах образцов, что выражается в появлении полос поглощения при 3389, 3279 и 3163  $\text{см}^{-1}$  вместо отдельной полосы поглощения 3396  $\text{см}^{-1}$  в исходном образце. В низкочастотной части спектра явно выделяются полосы поглощения 1639, 1551 и 1410  $\text{см}^{-1}$ , соответствующие колебаниям С-Н связей алканов и алкенов.

Вискозиметрические измерения проводили в термостате при 25°C вискозиметром Уббелоде с  $d = 0,54$ . Рассчитанные значения характеристической вязкости  $[\eta]$  и коэффициентов Хаггинса ( $K_h$ ) при 25°C приведены в таблице.

**Таблица.** Характеристическая вязкость и коэффициенты Хаггинса

Модифицирующий агент	$[\eta]$	$K_h$
исходная гуаровая камедь	12.99	0.20
метилюидид	5.24	0.45
аллилюидид	4.38	2.79
амилюидид	1.77	8.82
гептилюидид	3.14	1.39

Введение алкильных заместителей приводит к снижению характеристической вязкости и увеличению константы Хаггинса. Это может быть объяснено ухудшением качества воды как растворителя для модифицированных полисахаридов и появлением межмолекулярных взаимодействий за счет введенных алкильных радикалов.

УДК 541.64:539.24

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Юнусов Х.Э.<sup>1</sup>, Сарымсаков А.А.<sup>1</sup>, Туракулов Ф.М.<sup>1</sup>, Рашидова С.Ш.<sup>1</sup>, Бычковский П.М.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Институт химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан  
700128, Узбекистан, г. Ташкент, ул. А. Кадыри 7б,  
e-mail: polymer@academy.uz, haydar-yunusov@rambler.ru*

*<sup>2</sup>Учебно-научно-производственное республиканское унитарное предприятие  
«Унитехпром БГУ» 220045, Республика Беларусь, г. Минск ул. Курчатова-1,  
e-mail: unitehprombgu@gmail.com*

Целью данной работы является исследование возможности и способов получения стабилизированных наночастиц селена в структуре полимерной матрицы - натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и изучение их структуры, физико-химических свойств.

Для получения из ионов наночастиц селена, были выбраны очищенные растворы натрия карбоксиметилцеллюлоза (Na-КМЦ), с степени замещения (СП) 610, степени полимеризации (СЗ) 0,90.

Объектами исследования служили селеносодержащие наноструктуры, получаемые восстановлением оксида селена (IV) аскорбиновой кислотой в присутствии раствора очищенной Na-КМЦ. Оксид селена взаимодействует с аскорбиновой кислотой в соотношении 1:2. В результате реакции при температуре 50 °С образуется аморфный наноселен красновато-оранжевого цвета.

Таким образом, осуществлен синтез стабилизированных наночастиц селена путем химического восстановления оксидов селена аскорбиновой кислотой в растворах Na-КМЦ. Методами оптической, атомно-силовой микроскопии и УФ - спектроскопических исследований установлено, что размеры и формы наночастиц селена зависят от условий реакции восстановления.


В зависимости от соотношений Na-КМЦ,  $\text{SeO}_3^{2-}$ , аскорбиновой кислоты и условий реакции возможно изменение размеров и форм стабилизированных наночастиц селена, формирующихся в водных растворах при химическом восстановлении  $\text{SeO}_3^{2-}$ .

Полученные растворы Na-КМЦ, содержащие наночастицы селена открывают перспективы создания на их основе лекарственных препаратов широкого спектра действия, в частности – противоопухолевых препаратов, снижающих отрицательное воздействие на организм лучевой и химиотерапии, и препаратов, компенсирующих дефицит селена в организме.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке программа научно-исследовательских работ Института химии и физики полимеров Академии Наук Республики Узбекистан на 2020-2024 годы “Фундаментальные аспекты создания наноструктурных полимерных форм лекарственных средств и изделий медицинского назначения - будущее наночастиц в организме”.



An aerial photograph of the main building of Moscow State University, featuring its iconic spire topped with a golden orb. The building is set against a dramatic sunset sky with orange and yellow clouds. In the foreground, there are green lawns, a road with some traffic, and other university buildings.

**СЕКЦИЯ В**  
**ПОЛИМЕРНЫЕ И**  
**КОМПОЗИЦИОННЫЕ**  
**МАТЕРИАЛЫ**

УДК 541.64:66.071.6.081.6

## ПОЛИМЕРНЫЕ МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ

**Алентьев А.Ю., Сырцова Д.А., Никифоров Р.Ю., Рыжих В.Е.,  
Белов Н.А., Пономарев И.И.**

*ФГБУН ИНХС РАН, Москва, 119991, Ленинский пр., 29.*

*E-mail: Alentiev@ips.ac.ru*

В последние годы в качестве материалов мембран для выделения водорода из синтез-газа при повышенных температурах рассматривают не только неорганические материалы (металлы, цеолиты, керамика, углеродные молекулярные сита, и др.), но и термостойкие полимеры, благодаря высоким значениям как проницаемости водорода, так и селективности  $H_2/CO_2$ . Одной из возможных задач для использования полимерных мембран является выделение водорода из смесей газов после реакции водяного газа при 200 – 350°C, содержащих от 20 до 40%  $CO_2$ , а также пары воды, остаточное количество CO, метана или сероводорода. В настоящее время в качестве материалов мембран для высокотемпературного газоразделения рассматриваются, в основном, полибензимидазолы (ПБИ), имеющие температуры стеклования выше 400°C и обладающие высокой химической стабильностью. Для ПБИ различных химических структур характерен резкий рост проницаемости водорода и селективность  $H_2/CO_2$  с температурой.

В данной работе в качестве мембранных материалов для высокотемпературного газоразделения рассмотрен другой перспективный класс термостабильных и химически стабильных полимеров, частично-лестничные полинафтоиленбензимидазолы (ПНБИ), которые, в отличие от, как правило, барьерных ПБИ, уже при комнатной температуре обладают перспективным сочетанием проницаемость / селективность для различных пар газов. На разработанном новом лабораторном стенде для экспериментального определения коэффициентов проницаемости и коэффициентов диффузии газов дифференциальным методом при высоких температурах впервые проведены исследования транспортных параметров для гомогенных пленок ПНБИ и различных газов в интервале температур от 50 до 250°C. Показано, что для ПНБИ характерен не только рост проницаемости водорода и селективности  $H_2/CO_2$  с температурой, но и увеличение селективности для пар газов, содержащих метан, а также рост фактора разделения смесей газов по сравнению с идеальной селективностью, что свидетельствует о высокой перспективе применения ПНБИ для процессов высокотемпературного мембранного газоразделения.

### **Благодарность.**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-19-00222



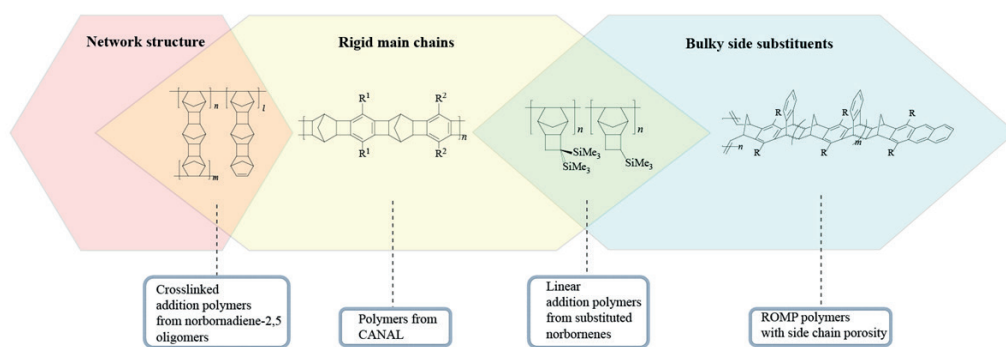
УДК 547.514.72+542.952.6

## ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА ДЛЯ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ

**Бермешев М.В., Возняк А.И., Бермешева Е.В., Алентьев Д.А., Борисов И.Л.**

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, 119991 ГСП-1, Россия  
E-mail: bmv@ips.ac.ru*

Быстрое развитие технологий и ужесточение экологических требований к промышленным производствам делают востребованным поиск новых мембранных полимерных материалов для газоразделения, выделения органических соединений из сточных вод и разделения энантиомеров из соответствующих рацемических смесей. Одним из привлекательных классов мономеров для синтеза таких полимеров являются производные норборнена. В данном докладе будут рассмотрены последние достижения в направленном синтезе мембранных материалов на основе производных норборнена, в том числе на основе оптически активных, в сравнении с другими группами полимеров, разрабатываемых для аналогичных целей (рис. 1).



**Рис. 1.** Основные подходы к дизайну пористых и мембранных материалов на основе производных норборнена [1, 2].

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ №20-13-00428-П).

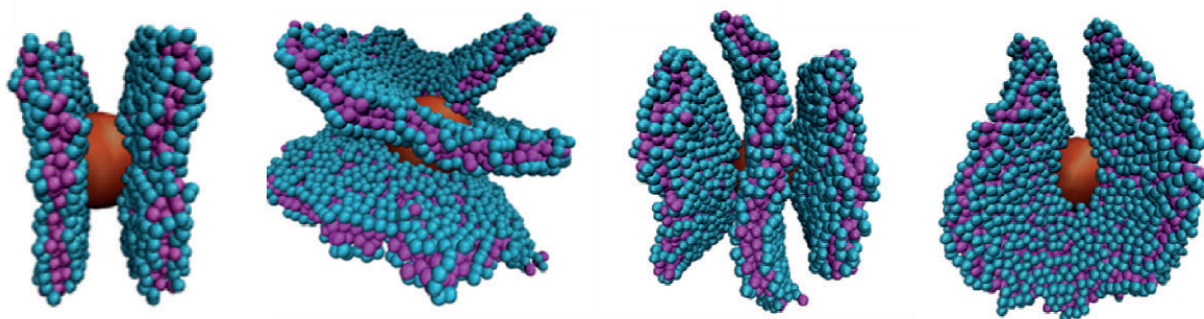
### Ссылки

- [1] Alentiev D.A., Bermeshev M.V. *Polym. Rev.* **2021**, 62, 400-437. DOI:10.1080/15583724.2021.1933026.  
[2] Wang X., Wilson T.J., Alentiev D., Gringolts M., Finkelshtein E., Bermeshev M., Long B.K. *Polym. Chem.* **2021**, 12, 2947-2977. DOI:10.1039/D1PY00278C.

УДК 541(64+183):539.199

**СФЕРИЧЕСКИЕ СЛОИ АМФИФИЛЬНЫХ ГОМОПОЛИМЕРОВ****Василевская В.В., Лазутин А.А., Ушакова А.С., Митьковский Д.А., Талис А.Л.***Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, ул. Вавилова 28, Москва  
vvas@poly.phys.msu.ru*

Амфифильные гомополимеры было предложено выделить в особую группу в [1], где они были определены как макромолекулы, мономерные звенья которых содержат группы с существенно различным сродством к растворителю. Согласно этому определению, амфифильные гомополимеры — это макромолекулы с амфифильными мономерными звеньями [2], гребнеобразные макромолекулы, полимерные поверхностно-активные вещества, макромолекулы с мицеллообразующими звеньями и т.д. Такое строение обуславливает эффективную поверхностную активность мономерных звеньев и приводит к образованию сложных морфологических состояний в растворах [2] и привитых слоях (Рис.1).



**Рисунок 1.** Примеры морфологических структур на сферической наночастице.

В докладе будут рассмотрены основные морфологические состояния, возникающие в слоях привитых к сферической наночастице амфифильных гомополимеров, описаны условия их возникновения и преобразования. Будут представлены результаты компьютерного моделирования и аналитической теории, проведено сравнение с литературными экспериментальными данными, представлена классификация на основе современных геометрических представлений.

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-73-20104-П).

**Ссылки**

[1] Basu S., Vutukuri D.R., Shyamroy S., Sandanaraj B.S., Thayumanavan S. // J. Am. Chem. Soc. –

УДК 665.662

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ МЕМБРАН С АСИММЕТРИЧНОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

**Волков А.В., Борисов И.Л., Матвеев Д.Н., Анохина Т.С.**

*Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева, Москва, Россия*

*E-mail: avolkov@ips.ac.ru*

Промышленные мембраны для разделения газов и жидкостей чаще всего представляют собой мембрану с асимметричной пористой структурой или содержат тонкий промежуточный слой с такой морфологией (например, поддерживающий слой в мембранах композиционного типа). Транспортные и разделительные характеристики мембран определяются, в первую очередь, их пористой структурой, которая формируется в результате фазового распада тонкого слоя полимерного раствора под воздействие внешних факторов (контакт с термодинамически «плохим» растворителем, изменение температуры полимерного раствора и др.). Фактически, из одного и того же полимерного материала могут быть получены мембраны с варьируемым размером пор в большой диапозоне значений. Это позволяет решать практические задачи от выделения взвешенных частиц и объемных соединений (например, белков или вирусов) из водных сред до реализации разделения на молекулярном уровне (например, выделение кислых компонентов из природного газа или осушка органических растворителей). В то же самое время, создание мембран с заданными свойствами сопряжено с трудоемким и длительным процессом по подбору оптимального состава многокомпонентного полимерного раствора и условий формования.

Так как основные свойства мембран закладывается на стадии их получения, большое внимание нами было уделено на изучении фазового распада в тонких слоях полимерных растворов различного состава под воздействием внешних факторов (контакт с «осадителем»). В докладе будут представлены результаты применения ряда разработанных экспериментальных экспресс-методов по реализации процесса получения мембран в ограниченном объеме, а также созданных на их основе подходов по предсказанию морфологии и транспортных характеристик мембран. Данные подходы позволили многократно снизить временные затраты и расход реактивов для разработки мембран с требуемыми характеристиками. Будет показано как на основе одного типа полимера можно создать единичные мембраны, а также мембранные модули для процессов ультрафильтрации и газоразделения.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

УДК675.043.84

**СПАЙКОВЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА****Годовский Д.Ю.***ИНЭОС РАН, Москва 199991, ул.Вавилова, 28**E-mail:**godovsky@polly.phys.msu.ru*

Мы наблюдали и изучали явление распространения окислительно-восстановительного фронта в различных образцах полианилина (PAni), взаимодействующих с жидким или твердым полимерным электролитом. Фронт электрохимического преобразования,

при котором переходят друг в друга изоляторная и проводящая части PAni, изучалась путем наблюдения за временной эволюцией проводимости образцов PAni. Распространение окислительно-восстановительного фронта было изучено в электрохимически полученных толстых (2 мкм) и тонких (50 нм) пленках полианилина, полученных методом Ленгмюра-Блоджетт (LB). В конфигурации, которую мы протестировали, было обнаружено, что скорость распространения фронта red-ox для тонких пленок LB составляет 200 мкм/сек, что открывает путь для создания больших нейронных сетей, реализуемых с использованием мемристорных устройств на базе PAni, в которых запомненное значение сопротивления может быть быстро изменено программируемым образом. Прототипы нейронных сетей из спайковых нейронов были изготовлены на основе литографически разработанных золотых контактов, соединенных электрохимически выращенным полианилином и помещенных под слой полимерного электролита только с одним электродом (затвор) для всего многообразия псевдодвухполюсных мемристорных устройства. В таких системах золото-полианилин изучалось распространение импульсов (спайков). Исследование открывает возможность изготовления миниатюрных нейросетевых схем на основе спайков, основанных на металлических площадках и полианилине.

УДК 667.6:66.095.261.2

## ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯ АЛКОКСИСИЛАНОВ КАК ОСНОВА БЕСХЛОРОНОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ И ЖИДКОСТЕЙ

**Калинина А.А.<sup>1</sup>, Егорова Е.В.<sup>1</sup>, Мешков И.Б.<sup>1</sup>, Катаржнова Е.Ю.<sup>1</sup>, Борисов К.М.<sup>1</sup>,  
Талалаева Е.В.<sup>1</sup>, Тришина А.А.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва, ул. Профсоюзная 70*

<sup>2</sup> *Институт элементоорганических соединений  
им. А.Н. Несмеянова, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.*

*E-mail: kalinina@ispm.ru*

Кремнийорганические связующие и жидкости являются важными представителями силоксановых олигомеров и полимеров и широко применяются для получения полимерных материалов различного назначения: от основы термостойких и радиационностойких масел и смазок до антикоррозионных, влаго- и атмосферостойких, термостойких, гидрофобизирующих покрытий [1]. В основе получения таких полимеров лежит процесс гидролитической поликонденсации органохлорсиланов, который помимо наличия кислых отходов характеризуется сложностью управления процессом и контроля состава и строения образующихся продуктов, что обусловлено высокими скоростями гидролиза, гетерофазностью и экзотермичностью процесса. В рамках перехода на бесхлорные методы синтеза полиорганосилоксанов была разработана концепция поликонденсации алкоксисиланов в активной среде, представляющей собой избыток безводной уксусной кислоты, являющейся одновременно реагентом, растворителем и катализатором [2-4]. В докладе будут продемонстрированы возможности разработанного подхода с точки зрения управления структурой образующихся продуктов на примере получения кремнийорганических жидкостей и связующих сложного сополимерного состава.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (№21-73-30030).

### **Ссылки**

- [1] Riaz, R. Silicones and their applications / R. Riaz, M. Bashir, K. Imtiaz, A. Rahdar, M. Nazar, S. Sumrra, M. Zafar // *Advances in Minerals Research*. – 2024. – P.131-156.
- [2] Kalinina, A. Polycondensation of Diethoxydimethylsilane in Active Medium / A. Kalinina, N. Strizhiver, N. Vasilenko [et al.] // *Silicon*. – 2015. – V. 7., Is. 2. – P. 95-106.
- [3] Meshkov, I. B. Densely Cross-Linked Polysiloxane Nanogels / I. B. Meshkov, A. A. Kalinina, V. V. Kazakova, A. I. Demchenko // *INEOS OPEN*. – 2020. – V. 3, Is. 4. – P. 118–132.
- [4] Khmel'nitskaia, A. G. Synthesis of Vinyl-Containing Polydimethylsiloxane in An Active Medium / A. G. Khmel'nitskaia, A. A. Kalinina, I. B. Meshkov [et al.] // *Polymers*. – 2024. – V. 16(2). - 257.

УДК 544.23.02/.03

## МЕЗОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

**Комаров П.В., М.Д. Малышев, П.О. Бабуркин**

*Тверской государственной университет, Тверь, 170002 Садовый пер. 35.*

*E-mail: komarov.pv@tversu.ru*

Химические волокна на основе полиакрилонитрила (ПАН) считаются наиболее востребованным первичным сырьём при производстве углеродных волокон (УВ), которые по своей прочности, химической стойкости и термостабильности сравнимы с традиционными материалами, такими как сталь, керамика и стекло. Это делает их востребованными для производства изделий, используемых в экстремальных условиях.

Для получения высокомодульных УВ необходимо, чтобы формирующиеся в них базовые плоскости графена были параллельны оси волокна. Создание таких высокоориентированных структур закладывается на этапе первичного формования волокон-прекурсоров. Считается, что этого можно добиться, если сделать структуру полиакрилонитрила однородной, а также посредством введения наполнителей на основе углерода, таких как графен и углеродные нанотрубки (УНТ). Поэтому изучение взаимосвязи условий формирования ПАН-волокон с их структурой представляет собой актуальную задачу.

В докладе обсуждается проблема моделирования процесса формирования первичной структуры волокон-прекурсоров на основе ПАН в результате процесса коагуляции прядильного раствора, содержащего смесь ПАН, УНТ и диметилсульфоксида. Для построения модели изучаемой системы используется методология мезомасштабного моделирования. Реализация расчётов выполнена в рамках метода динамического функционала плотности. С помощью построенной модели изучено формирование структурных неоднородностей (зародышей кристаллических доменов, пор и агрегатов из УНТ) в зависимости от изменения ключевых параметров, таких как температура, соотношения хорошего и плохого растворителей в системе и содержания наполнителя. Полученные результаты позволяют сформировать представления о кинетике процессов структурообразования в волокнах на основе ПАН.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00065, <https://rscf.ru/project/23-23-00065/>.



УДК 537.622.4

## ДИЗАЙН ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ МАГНИТОАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

**Крамаренко Е.Ю.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, 119991 Москва, Ленинские горы, 1-2*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, 117393 Москва, ул. Профсоюзная, 70  
E-mail: kram@polly.phys.msu.ru*

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ), состоящие из мягких эластомерных матриц, наполненных магнитными частицами микронного размера, относятся к классу интеллектуальных материалов из-за их способности изменять ряд физических свойств при приложении внешнего магнитного поля. В настоящее время они привлекают все возрастающий интерес, демонстрируя высокий потенциал в различных промышленных и медицинских приложениях [1,2].

Свойства МАЭ, в частности их магнитный отклик, сильно зависят от свойств их основных компонентов – полимерной матрицы и магнитных частиц. Более мягкая полимерная матрица обеспечивает более высокую степень перестройки магнитных частиц в магнитном поле, что приводит к большему магнитному отклику. Свойства МАЭ также определяются формой магнитных частиц и их расположением внутри полимерной матрицы. Анизотропное распределение частиц может быть достигнуто путем синтеза композитов во внешнем магнитном поле [1].

В докладе представлен анализ современных достижений в области создания магнитоактивных эластомеров, экспериментального исследования их свойств, а также продемонстрированы новые пути его практического применения. Основное внимание уделено результатам разработки новых сверхмягких, биомиметических МАЭ на основе молекулярных щеток [3], а также магнитоактивных термопластичных материалов [4], свойства и магнитный отклик которых можно программировать и контролировать *in situ* в интегральных координатах «температура-магнитное поле» за счет управления распределением магнитных частиц в полимерной матрице.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-43-00057.

### **Ссылки**

[1] M. Shamonin, E.Y. Kramarenko // In: Novel Magnetic Nanostructures, Elsevier, – 2018. P. 221–245.

[2] Iu. Alekhina, E. Kramarenko, L. Makarova, N. Perov // In: Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications. Ed.A.M. Tishin, Elsevier Ltd., –2022. – P.501-526.

[3] S.A. Kostrov, E. Dashtimoghadam, A.N. Keith, S.S. Sheiko, E.Yu. Kramarenko // ACS Appl. Mater. Interfaces, –2021. – V.13. – P. 38783–38791.

[4] S.A. Kostrov, M. Maw, S.S. Sheiko, E.Yu. Kramarenko // ACS Appl. Polym. Mater. – 2023. – V.5. – No.9. – P.7458–7466.

УДК 541(128+64):542.953.2:539.199

## ПОЛИИМИДЫ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

**Кузнецов А.А.**

*Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук  
117393 Москва, ул. Профсоюзная, 70, Россия*

Обзор современного состояния и тенденций развития исследований области полиимидов (ПИ) и полиимидных материалов. Текущая структура мирового рынка в данной области: термостойкие ПИ пленки, волокна, нетканые материалы, термопластичные полиимиды, термостойкая электроизоляция, полиимидные связующие для теплостойких ПКМ, и т.п. Перспективные разработки в области ПИ: полимерные сетки, ПИ аэрогели, ПИ, материалы для газоразделительных мембран, лаки на основе ПИ, растворимых в органических растворителях, прозрачные ПИ пленки, подложки для гибкой органической электроники, полимеры с памятью формы и т.п. Обзор результатов некоторых исследований по синтезу ПИ, выполненных в ИСПМ РАН за последнее время<sup>1-6</sup>. Использование высокоэффективного каталитического синтеза ПИ в расплаве карбоновых кислот для синтеза новых ПИ различной топологической и морфологической структуры: сверхразветвленных полимеров, полимерных звезд, частично кристаллических ПИ, линейных ПИ для газоразделительных мембран, новых термопластичных реакционных олигоимидов с пропаргиловыми группами для полимерных композитов. Новый процесс получения реакционных олигоимидов. Новые данные по исследованию механизма синтеза ПИ имидизацией олиоамидокислот в растворе в амидных растворителях с использованием математического моделирования, и т.п. Перспективы развития ПИ материалов в России.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FFSM-2024-0002 (2024-26)

### **Ссылки**

[1] Kuznetsov A. A. Synthesis of Reactive Three-Arm Star-Shaped Oligoimides with Narrow Molecular Weight Distribution / Kuznetsov A. A., Soldatova A. E., Tokmashev R. Yu., Tsegelskaya A. Yu., Semenova G. K., Shakhnes A. Kh., Abramov I. G. //J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem. – 2018.– Vol. 56.– № 17. – P. 2004–2009.

УДК 54-145.82.83;54-148

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РАСТВОРОВ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ВОЛОКОН

**Куличихин В.Г., Голова Л.К., Макаров И.С., Виноградов М.И.**

*ИНХС РАН, г. Москва, Ленинский пр. 29*

*E-mail: klch@ips.ac.ru*

Среди проблем получения искусственных и синтетических волокон особое место занимают волокна из неплавких полимеров, для переработки которых необходим перевод их в растворы. Среди причин «неплавкости» полимеров одной из ключевых является сильное межмолекулярное взаимодействие, не разрушаемое под влиянием температуры и обычных органических растворителей. Именно о таком взаимодействии идет речь для таких популярных волокнообразующих полимерах, как целлюлоза, полиакрилонитрил (ПАН), ароматические полиамиды, полигетероарилены. Появление нового класса растворителей полисахаридов с высокоорганизованной системой Н-связей—оксидов третичных аминов, среди которых был выявлен рекордсмен, а именно, N-метилморфолин-N-оксид (NMMO), эффективно образующий водородные связи с комплементарными функциональными группами полимеров. В молекуле NMMO группа  $-N^+—O^-$  может играть роль как донора, так и акцептора электронов. Поэтому N-оксиды аминов легко вступают в реакции электрофильного и нуклеофильного замещения.

Казалось бы, NMMO должен быть активен только к растворению гидрофильных полимеров с водородно-связанными макромолекулами. Вопрос о растворимости в NMMO гидрофобных полимеров, в частности сополимеров ПАН, без явных признаков специфического водородного связывания долгое время оставался открытым, пока методом ИК спектроскопии не было показано, что первичным актом является взаимодействие NMMO с карбоксильной или карбоксилатной группами. Это взаимодействие вызывает перераспределение электронной плотности вдоль макромолекулы и снижение интенсивности внутримолекулярных и межмолекулярных взаимодействий нитрильных групп, что приводит к сольватации и растворению.

Однако простым растворением процесс не завершается. Оказалось, что NMMO при температурах выше 120°C вызывает циклизацию нитрильных групп и их гидролиз, приводящий к образованию амидных и, в пределе, карбоксильных групп. В совместных растворах столь разных полимеров возникают сильные Н-связи между этими группами ПАН и гидроксилами целлюлозы, которые при повышенных температурах трансформируются в ковалентные связи, что является первым примером сополимеризации этих столь разных полимеров. Из смесевых растворов целлюлозы и ПАН, представляющих собой эмульсии сложной архитектуры, были сформованы композитные волокна текстильного назначения, сочетающие хлопко- и шерстеподобные свойства, и прекурсоры углеродных волокон.

УДК 536.712

## ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Ломоносов И.В.

*ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Черноголовка, ivl143@yandex.ru*

Экстремально высокие давления, температуры, плотности энергии – область, в которой полимерные и композитные материалы занимают значительную нишу. Знание термодинамических свойств полимерных металлов в условиях экстремально плотностей энергии имеет фундаментальный интерес и целый ряд важных практических приложений. К их числу следует отнести многочисленные проблемы защиты от «космического мусора», воздействия концентрированных потоков энергии различной природы, ударных волн, задачи управляемого инерциального термоядерного синтеза. Как правило, данные процессы имеют сложный 3-х мерный характер течения и сопровождаются большими градиентами параметров. Численное моделирование сопровождается экспериментальные исследования в этой области и также используется в прогностических целях, при этом уравнение состояния (УРС), замыкающее систему уравнений газовой динамики – законов сохранения массы, импульса и энергии, в существенной степени определяет надежность и точность получаемых при численном моделировании результатов.

Рассматриваются общие вопросы современных экспериментальных методов исследований свойств веществ при экстремальных условиях и построения УРС полимерных и композитных материалов. Представлены модели УРС полимерных материалов, примеры построения и результаты сопоставления с экспериментальными данными для различных полимерных и композитных материалов.

Обсуждаются задачи численного моделирования высокоэнергетического воздействия на полимерные и композитные материалы, иллюстрируемые расчетами процессов высокоскоростного удара и пробивания преград из полимерных и композитных материалов.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках проекта “Суперкомпьютерное численное моделирование высокоскоростных ударов по искусственным космическим объектам и Земле”, Соглашение № 21-72-20023 (проект № 21-72-20023).

### Ссылки

- [1] Бушман А.В., Жерноклетов М.В., Ломоносов И.В., Сутулов Ю.Н., Фортов В.Е., Хищенко К.В. ДАН. **1993**. Т. 329. № 5. С. 581–584.
- [2] Бушман А.В., Ломоносов И.В., Фортов В.Е., Хищенко К.В. Хим. физика. **1994**. Т. 13. № 1. С. 64–81.
- [3] Бушман А.В., Жерноклетов М.В., Ломоносов И.В., Сутулов Ю.Н., Фортов В.Е., Хищенко К.В. ЖЭТФ. **1996**. Т. 109. № 5. С. 1662–1670.
- [4] Khishchenko K.V., Fortov V.E., Lomonosov I.V. Intern. J. of Thermophys. **2002**. V.23. No. 1. P. 211-219.

УДК 541.1, 544.77

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭМУЛЬСИЙ МИКРОГЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК ПОЛИ(N-ИЗОПРОПИЛАКРИЛАМИДА) И ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Комарова Г.А.<sup>1</sup>, Гумеров Р.А.<sup>1</sup>, Рудяк В.Ю.<sup>2</sup>, Кожунова Е.Ю.<sup>1</sup>, Потемкин И.И.<sup>1</sup>, Насимова И.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Физический факультет, 119991 Москва, Ленинские горы д.1, стр.2

<sup>2</sup> Тель-Авивский университет, Школа физики и астрономии,  
Факультет физики конденсированного состояния, Израиль, 6997801 Тель-Авив, Р.О. Вох 39040  
E-mail: [nasimova@polly.phys.msu.ru](mailto:nasimova@polly.phys.msu.ru)

В современной промышленности особую роль занимают такие формы продукции как эмульсии. Расширение класса веществ, используемых для стабилизации эмульсий представляет собой важную задачу, так как это может способствовать повышению устойчивости эмульсий или придать им новые свойства. В частности, использование стимул-чувствительных микрогелей позволяет создавать «умные» эмульсии, стабильностью которых можно управлять, изменяя условия внешней среды.

Данная работа посвящена изучению возможности применения в качестве стабилизаторов эмульсий микрогелей на основе взаимопроникающих полимерных сеток (ВПС МГ) поли(N-изопропилакриламида) (ПНИПАМ) и полиакриловой кислоты (ПАК). Все эксперименты проведены в сравнении с гомополимерными микрогелями ПНИПАМ.

Было продемонстрировано, что эмульсии, стабилизированные ВПС МГ, могут оставаться коллоидно устойчивыми в течение длительного периода времени. Эмульсии оставались стабильными даже после нагревания до 40°C (выше НКТР ПНИПАМ), в то время как эмульсии, стабилизированные микрогелями на основе гомополимера ПНИПАМ, при нагревании разрушались. Чтобы понять механизм стабилизации эмульсий ВПС микрогелями, было проведено мезоскопическое компьютерное моделирование для изучения конформаций частиц микрогелей на границе раздела жидкость-жидкость. Было показано, что при условиях, когда одна из подсеток (в нашем случае ПНИПАМ) коллапсирует, частицы МГ приобретают довольно уплощенную морфологию типа ядро-оболочка с сильно набухшей оболочкой, обогащенной сеткой ПАК, и ядром, состоящим преимущественно из ПНИПАМ, что обеспечивает стабильность эмульсий на основе ВПС микрогеля в широком диапазоне температур.

Полученные результаты могут быть полезны для установления важных факторов, которые следует учитывать при использовании полимерных микрогелей для стабилизации эмульсий, в том числе «умных» эмульсий.

### Благодарность

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-23-00146.

УДК 541.515:544.773.3

## ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАДИКАЛЬНУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ В МИКРОКАПЛЕ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ

**Патлажан С.А., Рощин Д.Е.**

*ФИЦ ХФ РАН, Москва, ул.Косыгина, д.4  
E-mail: sapat@yandex.ru*

В последние десятилетия активно развиваются микрожидкостные технологии (микрофлюидика), в основе которых лежат особенности течения одно- и многофазных жидкостей в каналах с поперечными размерами от нескольких десятков до сотен микрон. Такие технологии позволяют формировать монодисперсные микрокапли, которые могут использоваться в качестве капельных микрореакторов для синтеза полимерных микрочастиц с заданными свойствами, размерами и формой. Несмотря на обилие экспериментального материала, до настоящего времени отсутствовало теоретическое моделирование кинетики свободно-радикальной полимеризации в индивидуальных каплях мономера при инициировании на межфазной границе. В том числе не затрагивался вопрос о влиянии скорости окружающей среды на молекулярно-массовые характеристики формируемого полимера, что особенно важно для понимания результатов такого синтеза при течении капель в микроканалах совместно с раствором инициатора не растворимого в мономере.

В данной работе этот вопрос изучался численно методом моментов на примере капель метилметакрилата в движущейся водной среде. Рассмотрено влияние размера капли и средней скорости окружающей среды на кинетику полимеризации и молекулярно-массовые характеристики формируемых полимерных цепей. Показано, что в каплях микронного размера (до 10 мкм) скорость реакции оказывается такой же, как и при полимеризации в массе. В таком режиме вариации скорости течения не влияют на скорость полимеризации. Однако, для достаточно больших капель наблюдается степенное уменьшение эффективной константы скорости полимеризации с увеличением радиуса капли. Данный эффект связан с неоднородным распределением концентрации радикалов в микрообъеме капли. Увеличение средней скорости течения внешней среды приводит к росту эффективной константы скорости. С увеличением размера капли скорость полимеризации возрастает. При этом с ростом радиуса капли среднечисленная длина цепи и степень полидисперсности также возрастает. Напротив, увеличение средней скорости течения приводит к снижению среднечисленной длины цепи и индекса полидисперсности синтезируемого в каплях полимера.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования России № FFZE -2022-0010 и госзадания ФИЦ ПХФ и МК № 124013000760-0.



УДК 66.017

## ВЛИЯНИЕ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА ПОЛУЧЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН

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

*Федеральный исследовательский центр химической физика  
им. Н.Н.Семенова РАН. Москва, Косыгина 4.  
E-mail: 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 СВМПЭ проводится в ходе осадительной гомогенной полимеризации с одновременной частичной кристаллизацией конденсированной фазы. На начальном этапе возможны два режима:

1) режим глобального коллапса, при котором синтез идет достаточно медленно, и каждая цепь формирует единую глобулу;

2) режим локального коллапса, при котором цепь растет достаточно быстро и формирует мелкие сколлапсированные блобы по ходу коллапса. После соприкосновения двух независимых цепей происходит агрегация, и последующий рост сопровождается формированием зацеплений [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 СВМПЭ после начала режима текучести пропорциональна плотности зацеплений исходного расплава, которая действует аналогично сетке шивателей 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 удастся получить. Однако слишком редко зацепленные или недостаточно длинные цепи не способны формировать прочные волокна. Простая скейлинговая теория подтверждает эти наблюдения: должна существовать некоторая определенная оптимальная степень запутывания, для получения наиболее ориентированных и прочных волокон [2].

### Ссылки

[1] Petrov A., Kos P., Rudyak V., Chertovich A. // *Macromolecules* 2020, 53, 16, 6796.

[2] Petrov A., Rudyak V., Chertovich A. // *Macromolecules* 2022, 55(15), 6493.

УДК 691.175.5/8+667

## ПОЛИМЕРЫ С КОВАЛЕНТНО ПРИСОЕДИНЕННЫМИ ЦИАНИНОВЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ: СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЯ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ

**Якиманский А.В.<sup>1</sup>, Жукова Е.В.<sup>1</sup>, Митрошин А.М.<sup>1</sup>, Мильцов С.А.<sup>1</sup>, Лыпенко Д.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт высокомолекулярных соединений  
Национального исследовательского центра «Курчатовский Институт»,  
199004, Санкт-Петербург, Большой пр., 31

<sup>2</sup> ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4  
E-mail: yakimansky@yahoo.com

Синтезированы новые сополифлуорены, содержащие ковалентно присоединенные фрагменты цианиновых красителей, которые широко применяются в светодиодных устройствах [1], оптических [2] и химических [3] сенсорах. Показано, что использование СПФ-1 (рис. 1а) в качестве материала светоизлучающего слоя лабораторных образцов органических светоизлучающих диодов позволяет получить достаточно интенсивную и практически белую электролюминесценцию (цветовые CIE-координаты  $x=0.328$ ,  $y=0.343$ ).

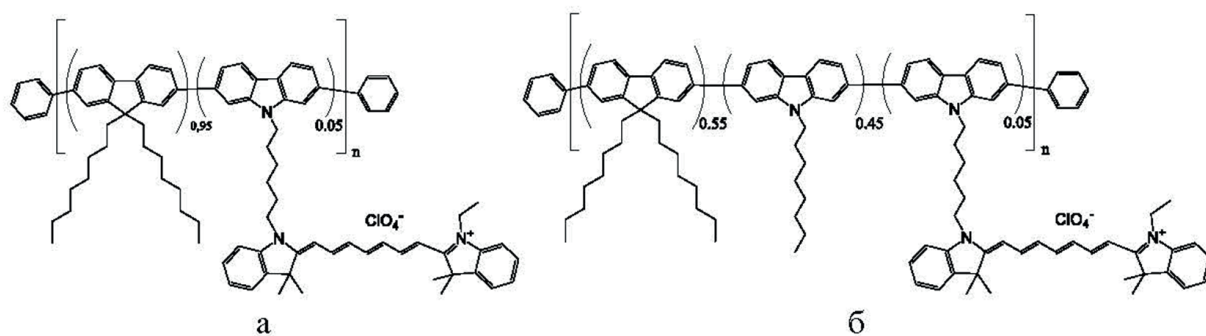


Рисунок 1. Структуры СПФ-1 (а) и СПФ-2 (б).

Изучены спектры поглощения и люминесценции сополифлуоренов в кислом ( $pH=1.65$ ) и щелочном ( $pH=9.18$ ) буферных растворах. Показано, что в спектре люминесценции сополифлуорена СПФ-2 (рис. 1б) с тем же цианиновым красителем, что и в СПФ-1, полоса эмиссии цианинового красителя при 680 нм проявляется только в кислой среде.

Таким образом, изученные сополифлуорены перспективны для использования в оптоэлектронике и хемосенсорике.

### Ссылки

- [1] Лыпенко Д.А. Электролюминесценция полимерных композитов на основе J-агрегатов цианиновых красителей : дис. канд. хим. наук: 02.00.04 / Д.А. Лыпенко. – М., 2000. – 107 с.  
[2] M. Puyol, S. Miltsov, Í. Salinas, J. Alonso // Anal. Chem. – 2002. Vol. 74. – P. 570–576.  
[3] M. Puyol, C. Encinas, L. Rivera, S. Miltsov, J. Alonso // Sensors and Actuators B. – 2007. Vol. 122. – P. 53–59.

УДК 544.032.53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IN SITU МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

**Анохин Д.В.<sup>1,2</sup>, Горбунова М.А.<sup>1</sup>, Абукаев А.Ф.<sup>1,2</sup>, Иванов Д.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики медицинской химии РАН  
142432 Черноголовка, просп. акад. Семенова, 1

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет,  
119991, Москва, Ленинские Горы, 1

В последние годы термопластичные мультиблочные полиуретаны привлекают интерес благодаря своей биосовместимости, хорошим механическим свойствам и относительной простоте синтеза. Кроме того, данные материалы демонстрируют адаптивность к внешним воздействиям, изменяя свою форму и механические свойства, что делает их привлекательными для медицинских приложений в качестве «умных» стентов, повязок, ортодонтических нитей, элайнеров и других [1]. Для термопластичных полиуретанов характерные времена изменения механических свойств лежат в широком диапазоне: от секунд до лет [2]. Изучение сложных процессов структурообразования в таких материалах требует разработки новых методов исследования структуры, механических и термических свойств в реальном времени с высоким временным и пространственным разрешением.

В настоящей работе представлены исследования процессов изменения структуры под внешними воздействиями в термопластичных полиуретанах с различным строением жесткого и мягкого блока и их взаимосвязи с термическими и механическими характеристиками. В частности, методами рентгеновской дифракции в больших и малых углах с использованием синхротронного излучения проведены *in situ* исследования в процессе деформации пленок для установления элементов структуры, ответственных за механическое поведение полимеров [3]. Другим примером является изучение взаимного двух кристаллизующихся полиэфигов на фазовый состав и кинетику кристаллизации полиуретанов, с использованием микрофокусной рентгеновской дифракции и термической оптической микроскопии [4]. Наконец, показана возможность управления структурой и формой полиуретанов, используя наночастицы золота в качестве источника локального нагрева материала под действием лазерного излучения. Представленные результаты позволяют лучше понимать процессы структурообразования в таких многокомпонентных системах как термопластичные полиуретаны, что поможет в разработке новых адаптивных материалов с заданными механическими и адаптивными характеристиками.

### Благодарность

Работа выполнена по теме государственного задания № 124013000757-0.

### Ссылки

[1] J. Bao et al. Phys. Chem. Chem. Phys. 20, 26479 (2018).

[2] D. V. Anokhin, M. A. Gorbunova, Ya. I. Estrin, V. V. Komratova and E. R. Badamshina. Phys.Chem.Chem.Phys., 2016, 18, 31769-31776

[3] D.V. Anokhin, M.A. Gorbunova, A.F. Abukaev, D.A. Ivanov Materials, 2021, 14(11), 3009

[4] M.A. Gorbunova, D.V. Anokhin, A. F. Abukaev, D.A. Ivanov Materials, 2023, 16(2), 818.

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ ПУЧКАМИ УСКОРЕННЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ: МЕМБРАННЫЕ И НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Апель П.Ю.

*Объединенный институт ядерных исследований,  
Дубна, Московская область, 141980, ул. Жолио-Кюри 6  
E-mail: apel@jinr.ru*

Высокоэнергетические тяжелые ионы, проходя сквозь полимер, теряют свою энергию в неупругих соударениях, приводящих к возбуждению и ионизации атомов в ближайшей окрестности траектории иона. Образующиеся в результате дефекты структуры полимера называются треками; вещество внутри трека существенно отличается от исходного полимера. Макромолекулы в треках претерпевают глубокую деструкцию, увеличивается свободный объем, образуются новые химические структуры. Облученный ионами полимер становится анизотропным и неоднородным на нанометровом уровне. На явлении образования треков в полимерах базируется ряд практических применений, число которых в последнее время продолжает возрастать. Так называемые трековые мембраны, получаемые посредством химического травления треков, представляют собой пример промышленной технологии, коммерциализированной еще в 70-е годы прошлого столетия. Методики изготовления микрофильтрационных или ультрафильтрационных трековых мембран созданы для ряда полимеров: поликарбоната, полиэтилентерефталата, полипропилена, поливинилиденфторида, полиэтиленнафталата и некоторых других. В 2000-е годы существенное развитие получило направление, связанное с получением и исследованием трековых нанопор, обладающих рядом особых свойств и применяемых в нанофлюидике и сенсорной технике. Среди других активно разрабатываемых направлений можно указать протонопроводящие мембраны, получаемые прививкой функциональных мономеров в треки тяжелых ионов, а также ионоселективные мембраны для электродиализа, получаемые экстракцией низкомолекулярной фракции из полимерных пленок, облученных высокими флюенсами тяжелых ионов. В докладе будет сделан обзор современных тенденций использования полимеров в ионно-трековой технологии, а также будут рассмотрены требования к полимерам, обусловленные тем или иным практическим применением.

УДК 541(64+14+183)

## ПОЛИМЕР-ДИСПЕРГИРОВАННЫЕ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИЕ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ФОТО- И МЕХАНОХРОМНЫМ ОТКЛИКОМ

**Баленко Н.В., Шibaев В.П., Бобровский А.Ю.**

*Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы д.1.  
E-mail: balenko.nik.msu@gmail.com*

Разработка стимул-чувствительных полимерных систем является одним из наиболее перспективных направлений в области современного материаловедения. Сочетание различных типов чувствительности в одном материале открывает возможность создания сложных устройств с широким спектром потенциального применения.

В данной работе был разработан подход к созданию новых композиционных материалов с механо- и фото-управляемыми оптическими свойствами. В качестве полимерной матрицы для получения таких систем был выбран поливиниловый спирт, пластифицированный глицерином. В качестве стимул-чувствительного компонента были использованы холестерические жидкие кристаллы (ХЖК), которые были диспергированы в полимерной матрице в виде капель микронных размеров (3-50 мкм). Механическое растяжение таких эластичных композитных пленок приводит к изменению их оптических свойств - сдвигу пика селективного отражения света (СОС) в коротковолновую область спектра (на ~100 нм). Это происходит благодаря уменьшению шага спирали ХЖК, возникающего в результате деформации капель и сжатия спиральной периодической структуры ХЖК, ответственной за СОС [1].

Введение в состав ХЖК хиральной фотохромной добавки позволило придать композитной пленке фоточувствительность, т.е. возможность управления ее оптическими свойствами с помощью облучения светом. Для этого в ХЖК смесь был введен фотохромный допант на основе изосорбида и коричной кислоты. При его облучении УФ светом (365 нм) происходит необратимая E-Z-изомеризация фрагмента коричной кислоты, что приводит к уменьшению закручивающей силы хирального допанта и смещению пика СОС ХЖК смеси и содержащей её пленки в коротковолновую область спектра (до ~100 нм, в зависимости от дозы облучения).

Таким образом, в работе была впервые продемонстрирована возможность как бесконтактного управления оптическими свойствами ХЖК систем за счёт УФ облучения, так и с помощью механической деформации. Это позволило реализовать запись и стирание изображений, в том числе скрытых, проявляющихся при воздействии механической деформации.

Разработанные материалы являются перспективными для практического применения в различных устройствах, таких как датчики деформации со скрытым изображением, сенсоры УФ-излучения, материалы для защиты ценных предметов от подделки и т. д.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке проекта Российского научного фонда №22-13-00055.

### **Ссылки**

[1] Balenko,N.; Shibaev,V.; Bobrovsky,A. Polymer. 2023, 281. DOI:10.1016/j.polymer.2023.126119.

УДК 547.514.72

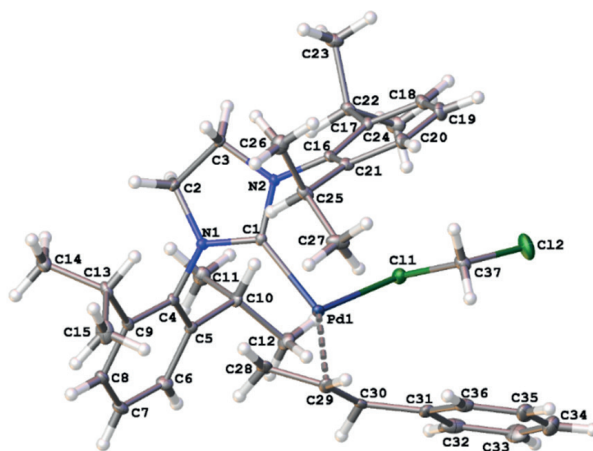
## ДИЗАЙН НОВЫХ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА

**Бермешева Е.В.,** Меденцева Е.И., Хрычикова А.П., Топчий М.А.,  
Асаченко А.Ф., Бермешев М.В.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
г. Москва, Ленинский проспект, д. 29  
E-mail: Janebp@ips.ac.ru*

Несмотря на привлекательность аддитивных полинорборнов, которые как правило, обладают высокой хемотермостабильностью, прозрачностью и высокими температурами стеклования, применение материалов на их основе сильно ограничено. «Краеугольным камнем» в популяризации аддитивных полимеров является процесс их получения. Аддитивная полимеризация на сегодняшний день мало изученный процесс, для которого пока не разработаны эффективные катализаторы, и вовлечение некоторых мономеров, особенно с плярными группами, в аддитивную полимеризацию порой бывает весьма трудоемким. На сегодняшний день разработка высокоэффективных катализаторов аддитивной полимеризации является весьма актуальной задачей.

В литературе было предпринято не мало попыток разработать однокомпонентный катализатор для аддитивной полимеризации. Некоторые из них оказались достаточно успешными. В докладе будут представлены результаты по разработке однокомпонентных катализаторов аддитивной полимеризации на основе катионных комплексов палладия с карбеновыми лигандами, а также систематические исследования по оптимизации свойств комплексов такого типа [1]. Разработанные катализаторы позволили получить серию новых перспективных полимерных материалов.



**Рисунок 1.** Пример строения синтезированного комплекса по данным РСА.

### Благодарность

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

### Ссылки

[1] Bermesheva E. V. et al. Air-Stable Single-Component Pd-Catalysts for Vinyl-Addition Polymerization of Functionalized Norbornenes //ACS Catalysis. – 2022. – Т. 12. – №. 24. – P. 15076-15090.



УДК 691.175

## ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ АДДИТИВНЫМИ ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

**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 СО РАН, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

<sup>2</sup> Первый московский государственный медицинский университет

им. И.М.Сеченова, Москва, ул. Трубецкая, 8-2

E-mail: burdovit@mail.ru

В докладе представлены результаты работ [1-4] по разработке фотополимерных композиций/смола (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 высоко-температурный 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 10<sup>6</sup> Гр.

### Благодарность

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

### Ссылки

- [1] Kholkhoev B.Ch. 4D-printing of mechanically durable high-temperature shape memory polymer with good irradiation resistance / B.Ch. Kholkhoev, K.N. Bardakova, A.N. Nikishina [et al.] // Applied Materials Today. – 2024. V. 36. – 102022
- [2] Kholkhoev B.Ch. A photosensitive composition based on an aromatic polyamide for LCD 4D printing of shape memory mechanically robust materials/ B.Ch.Kholkhoev, K.N. Bardakova, E.O. Epifanov [et al.] // Chemical Engineering Journal. – 2023. V. 454, № 3. – 140423
- [3] Bardakova K.N. 4D printing of shape-memory semi-interpenetrating polymer networks based on aromatic heterochain polymers / K.N. Bardakova, B.Ch. Kholkhoev, I.A. Farion [et al.] // Advanced Materials Technologies. – 2021. – 2100790
- [4] Korkunova O.S. Thiol-ene photosensitive composition for DLP 3D printing of thermally stable polymeric materials / O.S. Korkunova, B.Ch. Kholkhoev, V.F. Burdukovskii // Mendeleev Communications. – 2022. V. 32, № 2. – P. 231-233

УДК 004.942:519.876.5:544.169

**РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В АМОРФНЫХ ОБРАЗЦАХ  
ПОЛИЭФИРИМИДОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ С РАЗЛИЧНЫМИ  
СКОРОСТЯМИ ОХЛАЖДЕНИЯ:  
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕОРИЯ**

**Волгин И.В.<sup>1</sup>, Андреева М.В.<sup>1</sup>, Ларин С.В.<sup>1</sup>, Клушин Л.И.<sup>1,2</sup>, Люлин С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академия наук,*

*Санкт-Петербург, 199004, Большой пр. В.О., д. 31*

<sup>2</sup> *American University of Beirut, Department of Physics,  
Lebanon, Beirut, P.O. Box 11-0236, Riad El-Solh 1107 2020*

*E-mail: i.v.volgin@gmail.com*

В настоящее время полноатомное компьютерное моделирование все чаще применяется для предварительной оценки газоразделительных свойств новых полимеров. Ключевым этапом в ходе таких исследований является создание начальных конфигураций полимерных систем, связанным с охлаждением полимерного расплава, начиная с температур, существенно превосходящих температуру стеклования. По этой причине важным параметром при оценке газоразделительных свойств полимеров является скорость охлаждения. В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования растворимости газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{He}$ ) в образцах термопластичных полиэфиримидов Р-ОДФО и ULTEM, полученных при различных скоростях охлаждения. Показано, что скорость охлаждения в компьютерном моделировании является важным фактором, влияющим на конечные значения растворимости газов. Для экстраполяции значений растворимости газов, полученных в моделировании, на скорости охлаждения, соответствующие экспериментальным значениям, предложен подход, основанный на рассмотрении растворимости как функции доли свободного объема, релаксация которой в ходе процесса ступенчатого охлаждения полимера описывается с помощью феноменологической теории старения [1]. Применение данного подхода позволило достичь хорошего согласия между результатами компьютерного моделирования и экспериментальными данными [2].

#### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (соглашение № 22-13-00066).

#### **Ссылки**

[1] Struik L.C.E. Physical aging in amorphous polymers and other materials. – 1<sup>st</sup> ed. – Elsevier Sci. Publ. Comp.: Amsterdam-Oxford-New York, 1978.

[2] Volgin, I.V. Solubility of gases and free volume evolution in R-BAPB polyimide: molecular dynamics simulations and analytical theory insights into cooling velocity effect / I.V. Volgin, M.V. Andreeva, S.V. Larin, L.I. Klushin, S.V. Lyulin // Macromolecules. – 2024. Vol. 57, № 2. – P. 586-596.

УДК 541.64:536.7:547.458

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ

**Вшивков С.А., Русинова Е.В.**

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
sergey.vshivkov@urfu.ru*

Теория взаимодействия диамагнитных макромолекул с магнитным полем находится в стадии развития. Влияние поля заключается в повороте (ориентации) макромолекул в некотором преимущественном направлении, зависящем от знака их анизотропии диамагнитной восприимчивости. При этом необходимо соблюдение следующих условий: 1. Частица должна быть анизодиаметричной; 2. Объем частицы должен быть больше соответствующей критической величины; 3. Среда должна быть маловязкой. Целью данной работы явилось изучение влияния магнитного поля на структуру, фазовые переходы и реологические свойства растворов жесткоцепных и гибкоцепных полимеров.

Исследовали растворы эфиров целлюлозы (ГПЦ, ЭЦ, ЦЭЦ, ГЭЦ), ПЭ, ПЭГ, полиакриловой и полиметакриловой кислот. Для построения фазовых диаграмм использовали метод точек помутнения. Магнитное поле создавали с помощью постоянного магнита с напряженностью поля от 3 до 7 кЭ или электромагнита с напряженностью поля 12 кЭ. В зазор между полюсами магнита помещали прозрачный при повышенной температуре раствор полимера в запаянной ампуле. Раствор охлаждали и фиксировали температуру начала появления опалесценции, свидетельствующую о фазовом переходе. Морфологию полимерных образований изучали с помощью поляризационного микроскопа Olympus VX-51. Измерения вязкости проводили с помощью реометра, рабочий узел которого с раствором помещали в магнитном поле с напряженностью  $H=3,7$  кЭ и направлением силовых линий, перпендикулярным оси вращения ротора.

Наложение магнитного поля приводит к образованию доменной структуры в растворах целлюлозы и возникновению супрамолекулярных частиц в особенности вблизи фазового ЖК перехода. Эта структура фиксируется при испарении растворителя и проявляется в ориентации полос рельефа образующихся пленок. Концентрационные зависимости размеров частиц описываются кривыми с максимумом. Концентрации растворов, для которых наблюдаются максимальные размеры частиц, совпадают с концентрациями перехода изотропный раствор – анизотропный раствор данных систем.

Магнитное поле повышает температуру образования ЖК фазы растворов эфиров целлюлозы, что вызвано переходом холестерический ЖК → нематический ЖК, и температуру кристаллизации ПЭ и ПЭГ из растворов и расплавов. Чем больше напряженность поля, тем выше температура фазового перехода.

В магнитном поле вязкость изотропных растворов эфиров целлюлозы увеличивается, анизотропных – уменьшается. Вязкость водных растворов ПМАК и ПАК в магнитном поле растет.

УДК 541.64, 541.18

## **N, P-СОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОПОЛИМЕРЫ КАК СОРБЕНТЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Гоголишвили В.О., Батуева Т.Д., Горбунова М.Н.**

*«ИТХ УрО РАН», г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 3*

*E-mail: viktoria.gogolishvili@yandex.ru*

Полимерные сорбенты разнообразных классов широко используются в процессах анализа и концентрирования ионов металлов. Их синтез для избирательной сорбции определенных ионов из растворов сложного состава представляет большой практический интерес. Введение в диаллиловые мономеры ацилгидразидной группы, которая обладает способностью в амидной форме взаимодействовать с переходными металлами в кислой среде с образованием координационных и сольватационных комплексов является перспективным. Методом радикальной полимеризации в ДМСО в присутствии динитрил азо-диизомаляной кислоты были получены сополимеры N,N-диаллил-N'-ацетил-(неопентаноил-, бензоил-)гидразина с акрилонитрилом (ДААГ-АН; ДАНПГ-АН; ДАБЕГ-АН) и диаллиламинофосфониевых солей с акрилонитрилом (ДААФ-BF<sub>4</sub>-АН и ДААФ-Cl-АН).

Полученные сополимеры устойчивы до 160–260°C, что позволяет использовать их при повышенных температурах. Исследовано влияние анионного состава водной фазы на комплексообразование и сорбцию La<sup>III</sup>, Ce<sup>III</sup>, Pr<sup>III</sup>, Nd<sup>III</sup>, Sm<sup>III</sup>, Gd<sup>III</sup> в сернокислых, хлороводородных, азотнокислых, смешанных (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) средах с указанными сополимерами. Изучение кинетики протекающих процессов позволило определить оптимальное время установления адсорбционного равновесия. Максимальная степень заполнения поверхности сорбентов достигается в течение 20 мин. В кислых средах преобладают десорбционные процессы. В смешанных средах сорбция идет на 30%.

Сорбенты не проявляют активности в отношении исследуемых ионов при pH 2–5. При увеличении концентрации серной кислоты (pH 0.3) емкость сорбентов возрастает ( $\beta_{Sm/Ce} = 4.78$ ;  $\beta_{La/Ce} = 3.39$ ). Наблюдается высокая сорбционная активность в щелочной среде. При максимальном извлечении (pH 10–12) идет образование гидроксокомплексов. Показано, что наибольший интерес в качестве сорбента представляют ДАБЕГ-АН и ДААФ-BF<sub>4</sub>-АН. Учитывая более высокие значения сорбционной обменной емкости по гидроксид-ионам и относительную устойчивость данных полимеров в щелочной среде, можно предложить их в качестве сорбентов из растворов с pH > 7.5.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (24-23-00072).

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

УДК 541.64:66.095.26

## КООРДИНАЦИОННОЕ СВЯЗЫВАНИЕ И НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Давлетбаева И.М., Зыонг Т.М., Сазонов О.О.

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, ул. Карла Маркса 68  
E-mail: davletbaeva09@mail.ru*

Полиуретаны представляют собой полимеры, на базе которых можно создать материалы с широким диапазоном эксплуатационных показателей – повышенной твердостью, высоким модулем упругости, большой эластичностью, стойкостью к истиранию, растворителям, маслам и высокой прочностью. Перспективными с точки зрения областей применения, возможности многократной переработки и влияния на надмолекулярную структуру являются сегментированные полиуретаны (СПУ). Такие полиуретаны могут использоваться в качестве термоэластопластов или в растворённом состоянии.

В данной работе было исследовано влияние металлокомплексного связывания на надмолекулярную организацию и обусловленные этим физико-механические и электрофизические свойства СПУ. В качестве координирующих центров были использованы продукты взаимодействия хлорида меди (II) с N,N'-диэтилгидроксиламином (ДЭГА) и хлорид меди (II) в виде его раствора в тетрагидрофуране (ТГФ). Предварительно были исследованы особенности взаимодействия  $\text{CuCl}_2$  с ДЭГА и ТГФ. Установлено, что  $\text{CuCl}_2$  взаимодействует с ДЭГА в эквимольных количествах. Структура ДЭГА в ходе окисления с участием  $\text{CuCl}_2$  претерпевает значительные изменения в ходе реакции, превращаясь в нитрон. Изменение электрического сопротивления металлокомплексной системы (МК) на основе  $\text{CuCl}_2$  и ДЭГА по мере роста содержания в её составе  $\text{CuCl}_2$  до эквимольного с ДЭГА содержания является аддитивным и сопровождается уменьшением его значений в 1000 раз. Сделано заключение, что механизм переноса заряда в системе  $\text{CuCl}_2$  – ДЭГА не является ионным. В среде ТГФ хлорид меди (II) частично участвует в редокс-процессах, но основная часть  $\text{CuCl}_2$  образует связанные хлоридными мостиками полиядерные координационные соединения в конфигурации плоского квадрата.

Оказалось, что природа использованного МК оказывает значительное влияние на надмолекулярную структуру модифицированных таким образом СПУ (МКСПУ). Так, использование  $\text{CuCl}_2$  – ДЭГА уже при 0,1 мас.% приводит к значительному усилению микрофазового разделения жестких и гибких блоков МКСПУ. В результате наблюдается значительное повышение их прочности, эластичности, теплостойкости, температуры начала сегментальной подвижности и понижение удельного объёмного электрического сопротивления в 10000 раз. В случае МКСПУ, полученных с использованием  $\text{CuCl}_2$  в виде его раствора в ТГФ наблюдается разрыхление жёсткоцепных надмолекулярных образований.

УДК 541.64+541.572.54+541.68

## САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРЫ: ПРИНЦИПЫ ДИЗАЙНА И РЕГУЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ

Джардималиева Г.И.<sup>1</sup>, Уфлянд И.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики РАН,  
Черноголовка, пр.акад.Семенова, 1, 142432, Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 7, 344090,  
Российская Федерация  
E-mail: dzhardim@icp.ac.ru*

За последние два десятилетия область материалов с «замозалечивающимися» свойствами и с памятью формы является одним из перспективных направлений современного материаловедения [1,2]. «Умные» материалы рассматриваемого типа представляют интерес в качестве носимых электронных устройств, средств для доставки лекарств, в тканевой инженерии, как искусственные мышцы и в других биомедицинских приложениях, а также в каталитических системах. Среди разработанных к настоящему времени самовосстанавливающихся полимеров значительное место занимают металлосупрамолекулярные полимеры, формирующиеся посредством металл-лигандного взаимодействия [3,4]. Благодаря обратимости, высокой стабильности и скоростям образования координационных комплексов эта стратегия может быть использована для синтеза полимерных структур, способных к стимулированной самосборке, самовосстановлению и механической перестройке. Обсуждаются преимущества координационных связей при построении функциональных самовосстанавливающихся металлополимеров. Проанализированы основные факторы, включая термодинамический и кинетический характер металл-лигандных взаимодействий, являющиеся важными для достижения автономного самовосстановления не только механических характеристик, но и функциональных свойств таких материалов.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственных заданий, № государственной регистрации 124013000722-8 и 124013000757-0.

### Ссылки

[1] Irzhak V.I. Self-Healing of Polymers and Polymer Composites / Irzhak V.I., Uflyand I.E., Dzhardimalieva G.I. // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14. – 5404.

[2] Dzhardimalieva Gulzhian I. Self-healing and shape memory metallopolymers: state-of-the-art and future perspectives / Gulzhian I. Dzhardimalieva, Yadav Bal C., Singh Shakti, Uflyand Igor E. // *Dalton Trans.* – 2020. – Vol. 49. – P. 3042–3087. DOI: 10.1039/C9DT04360H.

[3] Sorin E.S. New Self-Healing Metallosupramolecular Copolymers with a Complex of Cobalt Acrylate and 4'-Phenyl-2,2':6',2''-Terpyridine / Sorin E.S.; Baimuratova R.K., Uflyand I.E., Perepelitsina E.O., Anokhin D.V., Ivanov D.A., Dzhardimalieva G.I. // *Polymers*. – 2023. – Vol. 15. – 1472. doi:10.3390/polym15061472.



УДК 678.01: 536.495' 539.3

## СОПОЛИ(УРЕТАН-ИМИДЫ) КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТЫ

**Диденко А.Л., Ваганов Г.В., Нестерова А.С., Камалов А.М., Крафт В.Е., Попова Е.Н.,  
Смирнова Н.В., Колбе К.А., Иванькова Е.М., Юдин В.Е., Светличный В.М., Кудрявцев В.В.**

*Институт высокомолекулярных соединений НИЦ «Курчатовский институт»,  
Санкт-Петербург, Большой пр.31  
E-mail: vanilin72@yandex.ru*

Разработаны и усовершенствованы схемы синтеза сополи(уретан-имидов) (СПУИ) с усложненной молекулярной структурой: мультиблочных (сегментных) сополимеров с повышенным и пониженным относительным содержанием термодинамически не совместимых жестких имидных и гибких уретановых (полиэфирных) блоков; композитов сополи(уретан-имидов) с наночастицами графена и дисульфида вольфрама; не сегрегирующих смесей сополи(уретан-имидов) и полиимидов; статистических сополимеров имидов с сополи(уретан-имидами); сшитых по жестким имидным блокам мультиблочных сополи(уретан-имидов) на основе как одного, так и двух полиэфиров. Показано, что состав полимерных систем влияет на процессы разделения и взаимодействия полиэфирных и имидных микрофаз, что позволяет осуществить переход от полиимидных термопластов к сополи(уретан-имидным) термоэластопластам. Синтезированные полимерные системы исследованы методами ИК-, ЯМР-спектроскопии, методами ТГА, ДСК и ДМА, исследованы деформационно-прочностные свойства, проведен рентгеноструктурный анализ. Морфологическое строение СПУИ исследовалась методами АСМ и СЭМ. На основе полученных полимерных систем с использованием различных технологических методов: как классических (формование пленочных покрытий методом полива, блочных изделий методом экструзии, нетканых материалов методом электроосаждения), так и новых (таких как технология FDM-печати), было получено семейство термоэластопластичных материалов с широким спектром повышенных деформационно-прочностных характеристик, теплостойкости и функциональных свойств в виде пленочных, блочных, печатных объемных изделий, нетканых матов, материалов с памятью формы. Это позволило выявить закономерные изменения в показателях теплостойкости и механических свойств (определяемых в статических и динамических условиях испытаний) при изменении химического состава и весового отношения жестких и гибких блоков в СПУИ и их композитах с полиимидами и применить найденные корреляции для решения практических задач при разработке функциональных материалов нового поколения.

### Ссылки

[1] Диденко А. Л., Кузнецов Д. А., Иванов А. Г., Смирнова В. Е., Ваганов Г.В., Камалов А.М. Светличный В. М., Юдин В. Е., Кудрявцев В. В. // Известия академии наук. Серия химическая – 2022. Т. 6, – С.1085-1110.

УДК 544.77

## НАНОФИБРИЛЛЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ПОЛИМЕР-ПАВ. СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

**Квятковский А.Л.<sup>1</sup>, Молчанов В.С.<sup>1</sup>, Куклин А.И.<sup>2</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>2</sup>*ОИЯИ, г. Дубна, МО*

*E-mail: kvyatkovskij@physics.msu.ru*

Самоорганизация амфифильных молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ) в червеобразные мицеллы вызвана балансом гидрофобного притяжения их неполярных (гидрофобных) «хвостов» и электростатическим отталкиванием их полярных «головок». В полуразбавленных растворах червеобразные мицеллы, подобно макромолекулам полимеров, образуют физическую сетку топологических зацеплений. Червеобразные мицеллы ПАВ, также, как и растворы полимеров, применяются в добыче и транспорте нефти.

В нефтедобыче они используются в роли загустителей в составе жидкости для гидроразрыва нефтеносного пласта (ГРП) для удержания пропанта. В этом случае, мицеллы ПАВ имеют преимущество, по сравнению с цепями полимеров, т.к. они разрушаются при взаимодействии с углеводородом, что вызывает самопроизвольное падение вязкости жидкости для ГРП на основе ПАВ до вязкости воды и позволяет нефти свободно проникать к скважине из трещин в пласте. При использовании жидкостей на основе полимеров, в скважину дополнительно вводятся вещества- деструкторы, для химического разрушения ковалентных связей в макромолекулах.

В нефтетранспорте мицеллы ПАВ и цепи полимеров используют как противотурбулентные присадки, т.е. специальные добавки, сглаживающие пульсации давления и вызывающие турбулентность при транспорте нефти по трубам. В этом случае использование чувствительных к углеводородам мицелл ПАВ, напротив, является малоэффективным, в отличие от цепей полимера.

В настоящий момент необходимы новые наноматериалы для использования, как в процессе ГРП, в отсутствие деструктора, так и в качестве противотурбулентной присадки при транспортировке нефти. Такими материалами могут стать недавно полученные нанофибриллы на основе комплекса ПАВ-полимер из олеата калия и поли(4-винилпиридина). Данная работа посвящена экспериментальному изучению структуры, а также вязкоупругих и противотурбулентных свойств таких нанофибрилл.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-13-00177).

УДК 541.64

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕТРАЗИНСОДЕРЖАЩИХ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

**Кожунова Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Сентюрин В.В.<sup>1,2</sup>, Магдесиева Т.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва  
kozhunova@polly.phys.msu.ru*

В последнее время возрастает интерес к органическим редокс-активным материалам, которые можно использовать как в комбинированных, так и в полностью органических устройствах. Органические молекулы дешевле и подлежат вторичной переработке; их стоимость не ограничена добычей и запасами редких элементов. Одним из основных направлений в этом направлении является разработка редокс-активных материалов на основе полимеров. Полимеры с функциональными группами, способными обратимо окисляться и восстанавливаться, обладают высокой способностью переноса и хранения заряда.

В данном исследовании была проведена разработка новых типов водорастворимых полимеров, содержащих s-тетразины (1,2,4,5-тетразины) в качестве редокс-активных боковых групп. S-тетразины являются одними из самых маленьких органических молекул, способных к обратимому двухэлектронному восстановлению в протонных средах и могут использоваться в качестве анолитов. Среди других важных преимуществ s-тетразинов следует упомянуть высокую растворимость, исключительную химическую стабильность в сочетании с возможностями для дальнейшей модификации их структуры. Нами был осуществлен синтез различных водорастворимых производных s-тетразина с целью дальнейшей интеграции их в полимерную цепь. Были апробированы два подхода к получению редокс-активных полимеров: полимеризация тетразинсодержащих мономеров и внедрение тетразиновых фрагментов в уже полученный полимер.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-13-00115).

УДК 541.64:544.77.051:621.355

## ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

**Кубарьков А.В., Ашарчук А.А., Семерухин Д.Ю., Бабкин А.В., Сергеев В.Г.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, 199991 Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3  
E-mail: aleksei.kubarkov@gmail.com*

Актуальной задачей в области технологии литий-ионных аккумуляторов является получение электродов из водных суспензий без использования органических растворителей, что позволит снизить стоимость производства аккумуляторов, повысить его безопасность и экологичность. Для данной технологии необходимы эффективные водорастворимые связующие, способные обеспечить целостность и адгезионные свойства электродов и равномерность распределения компонентов в их составе [1].

Нами разработаны электроды для литий-ионных аккумуляторов на основе  $\text{LiFePO}_4$  и различных водорастворимых полимерных связующих. Электроды получали с добавлением одностенных углеродных нанотрубок (УНТ), которые являются перспективным электропроводящим компонентом. Поскольку УНТ склонны к агрегации в водной среде, ключевой задачей являлось обеспечение равномерного распределения УНТ в составе электродов путём использования связующего в качестве стабилизатора дисперсии и загустителя.

В работе изучена способность водорастворимых связующих обеспечивать агрегативную устойчивость дисперсий УНТ в водной среде при различном рН. Установлено, что стабилизация дисперсии УНТ обеспечивает равномерное распределение УНТ в составе электродов и высокие емкостные характеристики. Наиболее эффективное диспергирование УНТ достигалось при использовании частично гидролизованного полиакрилонитрила [2] в качестве связующего.

Электрохимические характеристики электродов с водорастворимыми связующими превосходили характеристики электродов с классическим связующим поливинилиденфторидом. При этом использование электропроводящих связующих не приводило к улучшению характеристик электродов по сравнению с промышленно доступными аналогами (гидролизованным полиакрилонитрилом и карбоксиметилцеллюлозой). Разработанные электроды демонстрировали циклическую устойчивость в течении не менее 200 циклов заряда-разряда.

### Ссылки

[1] Salini P.S., Gopinadh S.V., Kalpakasseri A., John B.; Thelakkattu Devassy M. // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2020. – V. 8. – P. 4003-4025.

[2] Новоскольцева О.А., Панова И.Г., Лойко Н.Г., Николаев Ю.А., Литманович Е.А., Ярославов А.А. // Высокомолекул. Соед. Сер. Б. – 2021. – Т. 63. – С. 317-325.

УДК 691.175.2

## СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРЫ: ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОГИБРИДОВ

**Кутырева М.П.<sup>1</sup>, Гатаулина А.Р.<sup>1</sup>, Ханнанов А.А.<sup>1</sup>, Игнатъева К.А.<sup>1</sup>,  
Кутырев Г.А.<sup>2</sup>, Улахович Н.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,  
г. Казань, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

<sup>2</sup> ФРБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, 420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68  
E-mail: mkutyreva@mail.ru

Химическая инженерия композитов на основе полимеров на сегодняшний день является одной из опорных стратегий в области создания перспективных, в том числе полифункциональных материалов со специальными и настраиваемыми свойствами для передовых технологий и биомедицины. Сверхразветвленные дендрито подобные полиэфиры (СРП) 3D архитектуры обладают целым рядом преимуществ для решения задач в данной области. Одностадийный двухкомпонентный синтез позволяет получить наноразмерные СРП различных поколений с различной плотностью периферических функциональных групп, доступных для функционализации. Наличие гидрофобного пространственно незагруженного ядра, биоподобность, (био)деградируемость и термическая устойчивость, большая, по сравнению с дендримерами, подвижность ветвей СРП определяют преимущества данного класса полимеров для дизайна металлополимерных наногибридов с управляемым профилем функциональных характеристик.

Синтезирован ряд функциональных производных сверхразветвленных полиэфираполиолов  $G_2-G_3$  поколений, содержащих терминальные фрагменты моноэфиров дикарбоновых кислот, алифатических и ароматических аминов, аминоалкилтриалкоксиланов, бензоил(тио)карбаматов -  $G_n-R$ . На основе сверхразветвленных производных  $G_n-R$  синтезированы металлополимерные наногибриды  $G_n-RM$ , содержащие ионы переходных 3d металлов  $Ni^{II}$ ,  $Co^{II}$ ,  $Cu^{II}$  и 4f металлов  $Dy^{III}$ ,  $Gd^{III}$  в составе локализованных координационных центров в полимерной матрице. Изучена термодинамика образования сверхразветвленных металлополимерных наногибридов (типы координации, состав локальных координационных центров, эффективные  $lg\beta$ ), оценены термические и агрегационные свойства. Показано, что ионы металлов играют ведущую роль в управлении морфологией частиц наногибридов, в то время как биосовместимость в соответствии с параметром  $HC_{50}$  определяется природой  $G_n-R$ . Оценены перспективы применения наногибридов  $G_n-RM$  в качестве предшественников для синтеза сверхразветвленных нанокомпозитов  $G_n-R@M$ , в качестве наномодуляторов ферментативной активности, антибактериальных агентов и агентов для биовизуализации. Совокупность полученных данных позиционирует сверхразветвленные функциональные СРП  $G_n-R$  и металлополимерные наногибриды  $G_n-RM$  на их основе как перспективные полифункциональные материалы.

### Благодарность

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («Приоритет-2030»).

УДК 541.64:539.3

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИИЭТИЛЕНА

**Лебедев О.В.,** Тикунова Е.П., Голубев Е.К., Куркин Т.С., Шевченко В.Г., Озерин А.Н.

*Института синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова, РАН  
117393, Москва, Профсоюзная улица, 70  
E-mail: oleg.lebedev@phystech.edu*

В данной работе были проведены комплексные исследования структуры и свойств полимерных композитов, полученных ориентационной вытяжкой твердофазно сформированных смесей насцентного реакторного порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и наночастиц из ряда: графит, графен, технический углерод, одностенные, двухстенные и многостенные нанотрубки, наноалмазная шихта и др. Ориентационная вытяжка проводилась в условиях однородного сдвига [1]. Все стадий получения композитных материалов проходили при температурах, не превышающих температуру плавления СВМПЭ. За счет использования такого подхода удается сформировать в объеме полимерного композита предельно сегрегированную структуру из наноразмерного наполнителя.

Было изучено влияние следующих параметров переработки на характеристики получаемых композитных материалов: время предварительной ультразвуковой обработки порошков наночастиц, время ультразвуковой обработки смесей СВМПЭ/наночастицы, время формования под давлением, температура и давление, степень деформации в условиях однородного сдвига. Было продемонстрировано, что сегрегированная структура сохраняется при ориентационном упрочнении композитов. При этом было показано, что наполнение частицами любого типа не влияет на характер изменения прочностных свойств СВМПЭ в ходе ориентации.

Были получены уникальные многофазные композиты на основе уложенных в различной манере модифицированных высокопрочных (разрывная прочность ~3300 МПа) электропроводящих (удельное сопротивление ~500 Ом\*см) пленочных нитей из композитов на основе СВМПЭ. Были исследованы механические и электрофизические характеристики подобных композитов в зависимости от присутствия связующего и степени модификации связующего.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00359.

### Ссылки

[1] Keckek'yan A.S. и др. Effect of preliminary compression and uniform shear on the deformation behavior of a filled polymer nanocomposite in orientation stretching // Dokl. Chem. – 2013. – Т. 449. – №1. С. – 94-97



УДК 538.913

**СПЕЦИФИКА ТРАНСФОРМАЦИЙ НАНОСТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ  
ДЛИННОЦЕПочечных n-АЛКАНОВ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ**

**Марихин В.А.<sup>1</sup>, Борисов А.К.<sup>1</sup>, Гурьева С.А.<sup>1</sup>, Егоров В.М.<sup>1</sup>, Мясникова Л.П.<sup>1</sup>,  
Байдакова М.В.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26

<sup>2</sup> ИВС РАН, Санкт-Петербург, Большой пр., д. 31

E-mail: v.marikhin@mail.ioffe.ru

Проведены исследования кинетики размытого твердофазного перехода I рода в кристаллах монодисперсного n-алкана – тетракозана C<sub>24</sub>H<sub>50</sub> методами РЭМ, ДСК, ИК-Фурье спектроскопии и синхротронной рентгеновской дифракции (СРД).

В закристаллизованных образцах выявлена (РЭМ) многоуровневая НМС, состоящая из разориентированных протяженных стопок из пластинчатых образований (наноламель), толщины которых сопоставимы с длиной молекулы. Поперечные размеры ламелей (и стопок) варьируют и достигают десятков мкм. Молекулы в ламелях наклонены под углом около 72° относительно базовых плоскостей концевых метильных групп. Экспериментальные значения параметров триклинных суб-ячеек в кристаллических сердцевинах ламелей соответствовали данным, внесенным в ICDD.

РД в малых углах (до 6 порядков) свидетельствует как о высокой степени совершенства наноламель толщиной около 3 нм, так и о регулярном характере их взаимной укладки. ДСК показала, что в циклах нагревания/охлаждения переход из твердого состояния в жидкое и из жидкого в твердое осуществляется необычным образом, посредством двух основных переходов – твердофазного перехода I рода (ФП-I, изменение симметрии кристалла) и перехода порядок-беспорядок (ФП-II, плавление образца), а также низкоэнергетических переходов между ними.

Анализ пиков ФП-I (ДСК) впервые проводится на основе теории размытых ФП, рассматривающей гетерогенное возникновение нанозародышей новой фазы и последующее распространение межфазной границы. В наших работах эта идея получила экспериментальное подтверждение при исследовании in-situ кинетики развития ФП-I методами СРД и ИК-Фурье спектроскопии. Показано, что очаги зарождения новой фазы обнаруживаются в кристаллической сердцевине ламелей.

Установлено, что наряду с основными ФП-I и ФП-II проявляются подготовительные метастабильные состояния, связанные с несколькими типами ротационных фаз (РФ) и переходами между ними. Анализ температурных зависимостей ИК спектров позволяет выявить определенные последовательности в появлении различных РФ и их взаимосвязь с возникновением простейших конформационных концевых гош-дефектов (-gt<sub>m</sub>) и кинков (-gtg\*-).

Сделан вывод, что кинетика накопления конформационных дефектов играет ключевую роль в процессах перестроения как метастабильных, так и основных ФП.

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ЗОННОЙ ВЫТЯЖКИ ПОЛИМЕРОВ

Куракин Ю.А.<sup>1</sup>, Гиляров В.А.<sup>1</sup>, Мясникова Л.П.<sup>1</sup>, Марихин В.А.<sup>1</sup>, Иванькова Е.М.<sup>2</sup>,  
Бойко Ю.М.<sup>1</sup>, Радованова Е.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФТИ им А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург. Политехническая ул., д. 26

<sup>2</sup> ИВС, РАН, Санкт-Петербург. Большой пр. В.О., д. 31

E-mail: liu2000@mail.ru

Разработанный во ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН метод многоступенчатой зонной ориентационной вытяжки, заключающийся в многократном прохождении ориентируемой полимерной пленки по ножевому нагревателю при поэтапно увеличивающейся нагрузке и температуре нагревателя, позволил получить полимерные пленки и волокна с рекордными значениями механических характеристик [1]. Однако они все еще ниже теоретических оценок этих величин. Метод основан на термофлуктуационной теории прочности Журкова и заключается в минимизации нахождения ориентируемого полимера в «опасных» условиях: под нагрузкой при высокой температуре. Ранее не уделялось должного внимания возможной разнице температур между контактной и неконтактной с нагревателем сторон ориентируемой пленки. По умолчанию считалось, что она одинакова. С целью оптимизации процесса и достижения еще более высоких механических показателей предельно ориентированного материала проведен расчет теплового потока, распространяющегося от поверхности ножевого нагревателя к противоположной от нагревателя стороне ориентируемых пленок разных толщин. Рассчитано время прогрева пленок, обеспечивающее минимально возможную разницу температур поверхности пленки, контактирующей с нагревателем, с той, которая обращена к воздушной среде. Найдено, что при разнице температур в 1 градус соотношение скоростей пластической деформации составит 0.73, и растяжение будет лимитировать неконтактная сторона. Кроме того, определен градиент температуры в пленке, подходящей к ножевому нагревателю, и уходящей с него. Этот расчет дает возможность научно-обоснованного выбора скорости ориентационной вытяжки и оптимальной толщины ориентируемого полимера, что крайне важно для получения сверхпрочных и высокомолекулярных полимерных пленочных нитей, использующихся в изделиях самого разного назначения: от пуленепробиваемых жилетов до спортивного инвентаря и биоимплантов.

### Ссылки

[1] Ivan'kova E., Egorov V., Marikhin V., Myasnikova L., Boiko Y., Radovanova E. Fundamental Structural and Kinetic Principles of High Strength UHMWPE Fibers Production by Gel-Technology // Polymers. – 2022. – Vol.14, N21. – P.4771. <https://doi.org/10.3390/polym14214771>

УДК

## КОМПЛЕКСЫ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ И МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦ

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

*Волгоградский государственный технический университет,  
город Волгоград, пр-т. им. В.И. Ленина, 28  
E-mail: asozerin@vstu.ru*

Металлосодержащие полимерные соединения обладают уникальными оптическими, электрофизическими свойствами, а также высокой химической, каталитической и антибактериальной активностью. Свойства таких композиций во многом определяются размерными характеристиками металлических частиц, входящих в их состав. Получение наноразмерных частиц металлов в присутствии макромолекул полимеров реализуется в виде так называемого псевдоматричного синтеза, который заключается в формировании и росте металлической частицы при восстановлении катионов металла, последующем “узнавании” макромолекулой растущей частицы, достигающей определенного размера, и адсорбции макромолекулы на поверхности частицы с образованием экрана, препятствующего дальнейшему увеличению частицы. Так, в присутствии полиэтиленимна были получены дисперсии частицы кобальта, меди, никеля, а так же дисперсии частиц с одновременным содержанием двух металлов в своей структуре (медь, кобальт). Дисперсии указанных частиц характеризуются узким распределением по размеру, а размер частиц варьируется от 2 до 30 нм. Применение биосовместимого слабого полиэлектролита хитозана и его комплексов с пектином в качестве стабилизаторов серебро содержащих частиц, привело к получению пористых губок, поверхность которых равномерно покрыта металлическим серебром. Использование в качестве стабилизаторов частиц металлов (медь, кобальт), полимеров не образующих комплексы с катионами металлов (поли-N-винилпирролидон, полистиролсульфо кислота) привело к получению дисперсий с более широким распределением частиц по размеру. Следует отметить что, взаимодействие макромолекул полимеров с частицами металлов может не только способствовать стабилизации частиц, но и прохождению реакций функциональных групп с низкомолекулярными веществами (полимераналогичные превращения). Формирование частиц меди в присутствии полиакриламида привело к ускорению реакции гидролиза функциональных групп полимера и получением сополимера акриламида с акриловой кислотой.

**Благодарность:** исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0003 на основании соглашения № 075-03-2023-055 от 13.01.2023).

УДК 541.64

**(СО)ПОЛИМЕРЫ 1-ВИНИЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛА КАК ОСНОВА  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Поздняков А.С.**

*Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1  
E-mail: pozdnyakov@irioch.irk.ru*

Создание полифункциональных полимерных материалов с комплексом ценных свойств является перспективным и актуальным направлением исследований, что обусловлено возрастающей потребностью современного развития высоких технологий. При разработке новых высокотехнологичных и биологически активных материалов большое внимание уделяется N-винилазолам и полимерам на их основе.

Среди N-винилазолов особый интерес представляет 1-винил-1,2,4-триазол, поскольку полимеры на его основе обладают комплексом ценных свойств: гидрофильность, биосовместимость, нетоксичность, термостойкость, химическая стабильность, способность к комплексообразованию и кватернизации и т.д.

1-Винил-1,2,4-триазол легко вступает в реакцию свободно-радикальной и контролируемой полимеризации, обеспечивая получение гомополимеров с количественным выходом в широком диапазоне молекулярных масс. Радикальная сополимеризация 1-винил-1,2,4-триазола с различными мономерами (стирол, 1-винил-2-пирролидон, метилметакрилат, 4-винилпиридин, винилацетат, N-винилкарбазол, винилхлорид, акрилонитрил, акриловая кислота, винилтриэтоксисилан и др.) приводит к получению полифункциональных сополимеров.

На основе (со)полимеров 1-винил-1,2,4-триазола получены функциональные гидрофобные покрытия, композитные гидрогели, люминесцентные материалы, антимикробные нанокompозиты и т.д. [1]. Высокой научной и практической значимостью обладают триазолсодержащие полимерные протон-проводящие мембраны, характеризующиеся высокой проводимостью, химической и термической стабильностью [2].

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-13-00328.

**Ссылки**

[1] Pozdnyakov A., Kuznetsova N., Ivanova A., Bolgova Y., Semenova T., Trofimova O., Prozorova G., Emel'yanov A. Organosilicon copolymers containing triazole and triethoxysilyl groups as the basis for promising functional hydrophobic materials // Materials Today Chemistry – 2023. Vol. 34. – P. 101808.

[2] Prozorova G.F., Pozdnyakov A.S. Proton-Conducting Polymeric Membranes Based on 1,2,4-Triazole // Membranes. – 2023. Vol. 13, № 2. – P. 169.

УДК 678.074:537.624.9

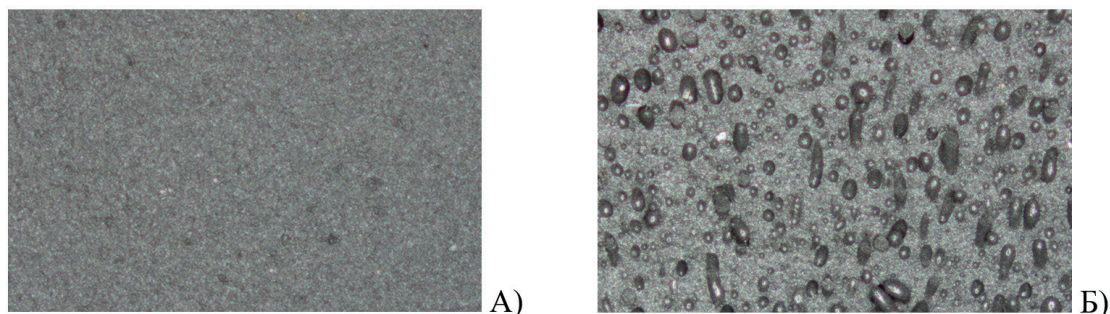
## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ЭЛАСТОМЕРА НА ОСНОВЕ СМЕШАННОЙ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

**Степанов Г.В., Стороженко П.А.**

*Государственный научно исследовательский институт химии  
и технологии элементоорганических соединений Москва, Россия*

*\*E-mail: gstepanov@mail.ru*

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) – новый тип магнитоуправляемых материалов, которые находят применение в управляемых демпфирующих устройствах. Такие материалы способны изменять упругие свойства под воздействием магнитного поля [1]. Кроме того, они характеризуются повышенным тангенсом механических потерь, что является важным показателем для демпфирующего материала. Тангенс механических потерь зависит как от типа и величины наполнителя, так и особенностей структуры полимерной матрицы. В нашем исследовании мы сделали акцент на получении МАЭ на основе эмульсии жидких компонентов полимерной матрицы перед стадией их полимеризации. Данный тип композиционного материала получают, подбирая жидкие эластомерные композиции несмешивающиеся между собой. Первоначально, каждый жидкий эластомер наполняется порошком магнитного наполнителя. Это могут быть порошки магнитомягкие, такие как порошковое железо или карбонильное железо, или магнитотвёрдые – феррит бария или неодим-железо-бор. После смешения жидких компонентов и их полимеризации получают композит с волокнистой структурой распределения одного эластомера внутри другого. Структура конечного композита зависит от соотношения жидких компонентов, интенсивности их смешивания. Материал, полученный по данной технологии, характеризуется повышенным тангенсом механических потерь и может быть эффективен при использовании его в пассивных и активных демпфирующих устройствах. На рисунке 1 представлены возможные варианты получаемых структур.



**Рисунок 1.** Структура МАЭ в разрезе: А – один эластомер, Б – смесь 2-х эластомеров.

Как видно из рисунка, смешанная полимерная структура представляет собой заполимеризованную эмульсию двух олигомеров и характеризуется в два раза большим тангенсом механических потерь.

### Ссылки

[1] Borin D., Stepanov G., Musikhin A., Zubarev A., Bakhtiarov A. Magneto-rheological Effect of Magnetoactive Elastomer with a Permalloy Filler // Polymers.- 2020.- V.12, N.10.- P.2371.

УДК: 544.015.22: 532.65: 532.135

## РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НИТЕЙ

**Субботин А.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтехимического синтеза  
им. А.В.Топчиева РАН, 119991 Москва, Ленинский пр., 29*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и  
электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071 Москва, Ленинский пр., 31*

*E-mail: subbotin@ips.ac.ru*

Рассмотрена динамика самоутоняющихся полимерных нитей, формируемых полимерными растворами без зацеплений, под действием капиллярных сил. Для анализа реологического поведения использован молекулярный подход, в котором макромолекулы моделируются полугибкой цепью, что позволяет описать упругость раствора и взаимодействия между цепями с учетом их ориентации с единых позиций. Основное внимание уделено исследованию области упругого поведения раствора, когда макромолекулы разворачиваются вдоль оси растяжения. Найдены условия возникновения капиллярной устойчивости нити и появления на ее поверхности капелек растворителя. Рассмотрена динамика формирования структуры типа «бусины на струне». Обсуждаются механизмы последующего слияния капель, связанные с перетеканием растворителя и их диффузией вдоль полимерной струны. Основные результаты представлены в обзоре [1].

### **Благодарность**

Работа выполнялась за счет гранта Российского научного фонда №20-19-00194, <https://rscf.ru/project/20-19-00194/>.

### **Ссылки**

[1] Субботин А. В., Ныркова И. А., Семенов А. Н. Реологическое поведение нитей полимерных растворов. // Высокомолек. соед. Серия С. – 2023. – Т. 65. – С. 14–30.



УДК 548.121

## ДРОБНЫЕ ВИНТОВЫЕ ОСИ (БИО)ПОЛИМЕРОВ

Талис А.Л.*Институт элементоорганических соединений РАН, Москва, ул. Вавилова 28**E-mail: talishome@mail.ru*

В стержнях (био)полимеров экспериментально наблюдаются некристаллографические дробные винтовые оси  $L/m$ , осуществляющие поворот на  $m \times 360^\circ/L$  [1]. Установлено, что дробные оси принадлежат к особому классу осей, определяемому полиэдрами (решетками)  $n$ -мерной,  $3 < n \leq 8$  кристаллографии. К таким конструкциям, прежде всего, относится 4-мерный аналог икосаэдра – политоп  $\{3, 3, 5\}$ , все 120 вершин которого принадлежат неевклидовому пространству 3-мерной сферы  $S^3$ . Например, дробная винтовая ось  $30/11$  с вращением на  $11 \times 360^\circ/30 = 132^\circ$  характерна для политопа  $\{3, 3, 5\}$ , в котором нами была выделена 40-вершинная спираль из объединяемых по граням 40 правильных тетраэдров [2]. Данная спираль обладает винтовой осью  $20/9$  с углом вращения  $162^\circ$  и позволяет определить в  $S^3$  спирали с осями  $40/9, 40/11$ :

$$(30/11)^3 = (40/11)^4 = 10/1, \quad (20/9)^2 = (40/9)^4 = -10/1,$$

где знак минус означает вращение в противоположном направлении.

Симметрия является геометрическим эквивалентом физического требования минимума свободной энергии системы, поэтому реализуемость в 3-мерном евклидовом пространстве  $E^3$  аппроксимант таких осей объясняется некристаллографической симметрией, унаследованной ими от политопа  $\{3, 3, 5\}$  и производных от него конструкций. В частности, симметрия  $30/11$  объясняет широкую распространенность непериодической тетраэдрической спирали Коксетера – Бердийка. Экспериментально определенные параметры биополимера - идеальной  $\alpha$ -спирали, представляют собой (с точностью до 2%) параметры евклидового аппроксиманта спирали  $40/11$ . Нами установлен класс из 50 базисных дробных винтовых осей [2], определяемый аппроксимантами осей:  $30/11, 20/9, 40/9, 40/11$ . Базисные оси этого класса позволяют определять и составные (задаваемые объединением базисных) дробные оси. Например [1], составная ось  $71/26$  - это объединение двух аппроксимант  $30/11$  и аппроксиманта  $11/4$  оси  $30/11$ :  $71/26 = (30+30+11)/(11+11+4)$ . Данный класс охватывает все дробные оси полимеров из обзора [1]; он может быть расширен симметриями, определяемыми 8-мерной решеткой  $E_8$  – предельной конструкцией, определяемой политопом  $\{3, 3, 5\}$ .

**Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Ссылки**

[1] Muller U. The symmetry of helical chains // Acta Cryst. B – 2017. Vol.73, № 3. – P.443–452.

[2] Talis A.L., Kucherinenko Ya.V. Non-crystallographic helices in polymers and close-packed metallic crystals determined by the 4-dimensional counterpart of the icosahedron // Acta Cryst. B. – 2023. Vol.79, № 6. – P. 537-546.

## СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ ПТФЭ, ОРИЕНТИРОВАННОГО МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОГО ФОРМОВАНИЯ

**Хатипов С.А.<sup>1</sup>, Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Конова Е.М.<sup>1</sup>, Серов С.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ООО «НПП «Арфлон», Москва, 1-ый Вешняковский проезд, д. 2, стр. 1

<sup>2</sup> Курчатовский комплекс «Кристаллография и фотоника»,  
НИИ «Курчатовский институт», Москва, Ленинский проспект, 59  
info@npp-arflon.ru

Особенностью деформирования ПТФЭ при растяжении является отсутствие шейки и зависимость кривых напряжении/деформация от скорости растяжения [1]. Такое поведение является признаком проявления сверхпластичности, впервые обнаруженной на металлах и сплавах мелкозернистой структуры [2]. Механизм развития сверхпластической деформации в ПТФЭ и природа элементов микроструктуры ответственных за нее остаются не выясненными. В настоящей работе проведено исследование микроструктуры и деформационных кривых ПТФЭ, подвергнутого сверхпластической деформации ниже точки плавления. Для достижения сверхпластической деформации использовали прямую (рис. 1а-в) и обратную (рис. 1г-е) плунжерную экструзию цилиндрических образцов ПТФЭ. В процессе прямой экструзии образец вытягивался вдоль оси прессования (рис. 1б), при обратной – в тангенциальном направлении (рис. 1д). Степень вытяжки образцов составляла для прямой и обратной экструзии соответственно 700 и 900 % (рис. 1 в,е). На изображениях сколов, полученных методом РЭМ, вдоль оси вытяжки наблюдается упорядоченная микроструктура вытянутых фибрилл. При растяжении лопаток, вырубленных вдоль ориентации фибрилл, вид деформационных кривых близок к типичному, поперек ориентации фибрилл наблюдается сверхпластическая деформация до 1300% при неожиданно низких значениях напряжения (0.5 МПа для обратной экструзии), что свидетельствует о слабой межмолекулярной связи между фибриллами. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в качестве элементов микроструктуры ответственных за развитие сверхпластической деформации в ПТФЭ выступают фибриллы.

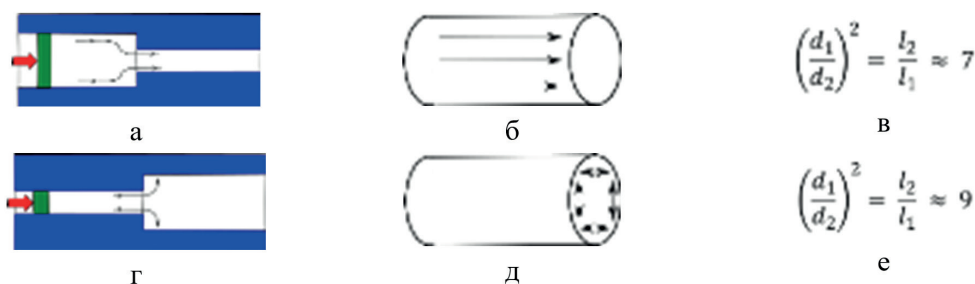


Рисунок 1. Сверхпластическая деформация ПТФЭ при прямой (а-в) и обратной (г-е) экструзии

### Благодарность

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

### Ссылки

[1] Nunes L.C.S., Dias F.W.R., da Costa Mattos H.S. // Polymer Testing. – 2011. – V. 30. P. – 791.

[2] Superplasticity // K.A. Padmanabhan, S. Balasivanandha Prabu, R.R. Mulyukov, Ayrat Nazarov, R.M. Imayev, S. Ghosh Chowdhury. – Berlin: Springer. – 2018. – 526 P.

УДК 691.175

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛИМЕРЫ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДЛЯ LCD 4D-ПЕЧАТИ

**Холхоев Б.Ч.<sup>1</sup>, Бардакова К.Н.<sup>2,3</sup>, Матвеев З.А.<sup>1</sup>, Никишина А.Н.<sup>1</sup>, Сапожников Д.А.<sup>4</sup>, Тимашев П.С.<sup>2,3</sup>, Бурдуковский В.Ф.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

<sup>2</sup> Институт фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Троицк, Москва, ул. Пионерская, 2

<sup>3</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, ул. Трубецкая, 8-2

<sup>4</sup> Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, ул. Вавилова, 28  
E-mail: holh\_bat@mail.ru

В последние годы активное развитие получила 3D-печать полимерных объектов с эффектом памяти формы (ЭПФ). Объединение аддитивных технологий и полимеров с ЭПФ привело к новой области, известной сейчас как 4D-печать. Особое внимание привлекают высокотемпературные полимерные материалы с ЭПФ, перспективные для применения в различных высокотехнологичных отраслях промышленности (например, авиакосмической сфере).

В докладе будут обсуждаться результаты исследования новых фоточувствительных композиций на основе ароматических гетероцепных полимеров (ароматические полиамиды, полибензимидазолы, полиимиды), а также фоточувствительных мономеров и олигомеров. Было установлено, что композиции пригодны для формирования объемных объектов с высоким пространственным разрешением с использованием LCD 4D-печати. Полученные материалы после дополнительной термической пост-обработки характеризуются превосходной механической прочностью и высокой термостойкостью. Кроме того, структуры на основе полученных материалов демонстрируют ЭПФ при температуре  $>150^{\circ}\text{C}$  (Рисунок 1), при этом коэффициенты фиксации и восстановления формы составляют  $>99\%$ .



**Рисунок 1.** Демонстрация эффекта памяти формы на примере структуры, полученной методом LCD 4D-печати.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РНФ в рамках проекта № 22-73-10011.

УДК 541.64; 544.023.26

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛОВОЛОКОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИМ КАРКАСНЫМ ПОЛИМЕРОМ

**Шиканов С.С., Плиско Т.В., Бильдюкевич А.В.**

Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,  
220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Беларусь  
E-mail: iphoch2022@mail.ru

Эффективными мембранами для нанофильтрации и обратного осмоса являются композиционные мембраны, состоящие из очень тонкого слоя полиамида (ПА) (<0,2 мкм) и пористой мембраны-подложки. На основе полволоконных ультрафильтрационных мембран-подложек из полиэфирсульфона с номинальным молекулярно-массовым пределом отсека 20, 100 и 300 кДа (ПЭС-20, ПЭС-100, ПЭС-300) производства ИФОХ НАН Беларуси разработаны нанофильтрационные мембраны с промежуточным слоем на основе органического каркасного полимера с жесткими ароматическими фрагментами (рисунок) и с селективным полиамидным (ПА) слоем, полученным методом межфазной поликонденсации (МП). Аминный и ацильный агенты в МП - раствор пиперазина в воде и раствор тримезоилхлорида (ТМС) в н-гексане, соответственно. Разработана оригинальная методика синтеза органического каркасного полимера на основе амида 1,5-диаминонафталина и хлорангидрида 3,5-бис(N-трифторацетиламино)бензойной кислоты (G4DN) для модификации и получения нанофильтрационных мембран.

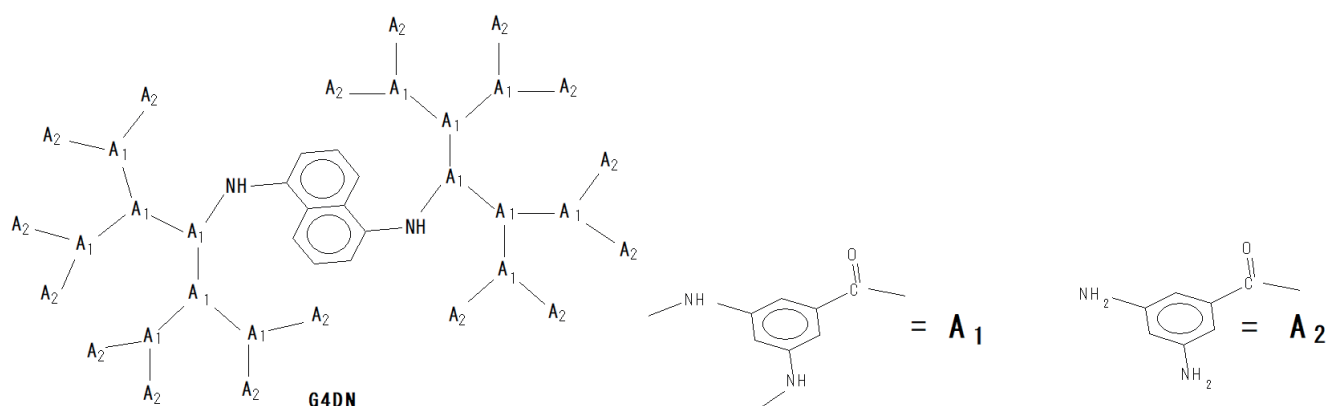


Рисунок - Структура органического каркасного полимера

Установлено, что иммобилизация ароматического дендримера на поверхности пористой мембраны из полиэфирсульфона (ПЭС-300) с внутренним селективным слоем приводит к увеличению удельной производительности композиционных мембран по воде с 47 до 80 л·м<sup>-2</sup>·ч<sup>-1</sup> (при трансмембранном давлении 0,5 МПа), что обусловлено уменьшением толщины селективного полиамидного слоя. Показано, что разработанная полволоконная нанофильтрационная мембрана характеризуется высокими коэффициентами задерживания: сульфат магния и натрия (>99%), хлорид магния (93%), хлорид кальция (88%), сульфадиметоксин (96%), витамин В12 (>99%), сахараза (>99%), полиэтиленгликоль-200 (84%), полиэтиленгликоль-300 (>99%).

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект №Х22КИ-036).

УДК

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СКЕЙЛИНГА ПЛОТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ГРАФТИНГА ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ

**Авдеев М.М.<sup>1,4</sup>, Шibaев А.В.<sup>1,5</sup>, Маслаков К.И.<sup>2</sup>, Дворяк С.В.<sup>2</sup>, Локшин Б.В.<sup>3</sup>,  
Горшкова Ю.Е.<sup>4,6</sup>, Тропин Т.В.<sup>4</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, химический факультет, г. Москва

<sup>3</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

<sup>4</sup>Объединённый Институт Ядерных Исследований, г. Дубна

<sup>5</sup>КарГУ имени Е. А. Букетова, химический факультет, г. Караганда, Казахстан

<sup>6</sup>Институт физики, Казанский Федеральный Университет, Казань

E-mail: avdeev@polly.phys.msu.ru

Полимерные щётки, представляющие из себя набор макромолекул, закреплённых на поверхности, применяются в различных сферах науки и промышленности. Так они могут служить в роли лубрикантов, защитных и антибактериальных покрытий, стимул-чувствительных поверхностей и др. Среди различных методов синтеза полимерных щёток можно выделить ‘grafting-through’, в котором покрытая функционализированным мономером поверхность участвует в реакции полимеризации мономеров винилового ряда. Предполагается, что в результате реакции мономеры в равной степени участвуют в реакции, в результате чего на поверхности появляется прикреплённый слой. Данный подход ввиду простоты и дешевизны часто используется в практических целях для получения нанокомпозитных материалов, а также в промышленности из-за достаточно лёгкой масштабируемости. Несмотря на достаточно широкое применение, щётки ‘grafting-through’ остаются малоизученными ввиду сложной кинетики этого подхода.

В данной работе было проанализировано состояние закреплённых на поверхности SiO<sub>2</sub> цепей полиакриламида: оценены плотности графтинга и скейлинг одиночной цепи, а также продемонстрирована возможность контроля толщины слоя. В эксперименте использовались фиксированные концентрации компонентов, но варьировалась температура синтеза. Задачей исследования являлся анализ структуры полимерной пленки. Методом рентгеновской рефлектометрии оценены толщины полученных слоёв. С помощью атомно-силовой микроскопии проводилось исследование морфологии плёнок. Методом динамического рассеяния света оценены степени полимеризации получаемых в растворе макромолекул. Поэтапные изменения химического состава щёток подтверждены методом РФЭС и ИК спектроскопии.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-10197). Авторы выражают благодарность программе развития МГУ им. М.В. Ломоносова за предоставление доступа к установке XPS. Измерения методом FTIR выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на оборудовании Центра изучения молекулярного состава ИНЭОС РАН.

УДК

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ НА СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МИЦЕЛЛЯРНЫХ СЕТОК БЛИЗНЕЦОВОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА C18-4-C18 В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СОЛИ

**Авдеев М.М.<sup>1,2</sup>, Чесноков Ю.М.<sup>3</sup>, Козлов С.В.<sup>1,4</sup>, Молчанов В.С.<sup>1</sup>,  
Харитонов Е.П.<sup>1</sup>, Исламов А.Х.<sup>2</sup>, Филиппова О.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва

<sup>2</sup>Объединённый Институт Ядерных Исследований, Дубна

<sup>3</sup>Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва

<sup>4</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва

E-mail: avdeev@polly.phys.msu.ru

При определённых условиях поверхностно-активные вещества (ПАВ) склонны к самоорганизации в различные по форме и структуре агрегаты, называемые мицеллами, среди которых особый интерес в настоящее время представляет класс червеобразных мицелл. Достигая в длину нескольких микрон, червеобразные мицеллы способны образовывать сетку зацеплений, обладающую вязкоупругими свойствами. Неотъемлемым преимуществом сетки червеобразных мицелл ПАВ является возможность контроля её вязкоупругих свойств в пределах нескольких порядков посредством внешнего воздействия (температура, pH, добавление наночастиц и др.). Подобное свойство широко применяется как в коммерческих продуктах (краски, моющие средства), так и в индустриальной сфере, например, в методах струйной печати и в нефтедобыче (технология гидроразрыва пласта).

Среди веществ с поверхностной активностью существует класс близнецовых (гемини) ПАВ, представляющих из себя две молекулы ПАВ, сшитые спейсером. Они обладают очень низкой концентрацией мицеллообразования и крайне высокой поверхностной активностью. Известно, что добавление наночастиц в раствор червеобразных мицелл мономерных ПАВ может влиять на самоорганизацию в системе и усиливать её вязкоупругие свойства, поскольку наночастицы способны выступать в роли сшивок. В данной работе предлагается исследовать эффект добавления наночастиц к мицеллам гемини ПАВ, поскольку они являются перспективными кандидатами для практического использования в качестве альтернативы однохвостым ПАВ.

Таким образом, было проведено изучение и сравнение свойств ПАВ C18-4-C18 в водных растворах соли с добавлением и без добавления наночастиц SiO<sub>2</sub>. Методами малоуглового рентгеновского рассеяния и крио-ПЭМ исследована структура получаемых агрегатов. Методом ТГ оценена степень адсорбции ПАВ на наночастицы. Эффект влияния наночастиц на реологические свойства мицеллярных сеток был изучен методом ротационной реометрии и сопоставлен с примерами из литературы.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-73-30013).



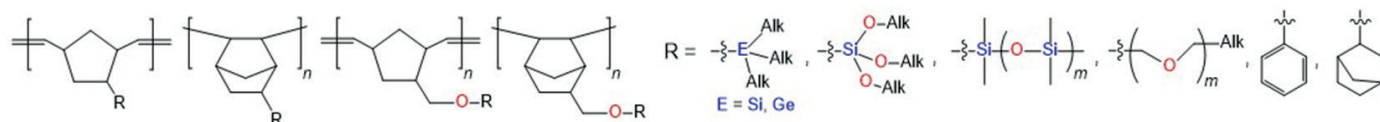
УДК 66.081.6

## ДИЗАЙН НОВЫХ МЕМБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОРБОРНЕНОВ: ВЛИЯНИЕ ЖЁСТКОСТИ И ПРИРОДЫ БОКОВЫХ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ НА РАЗДЕЛЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

**Алентьев Д.А.,** Гусева М.А., Зоткин М.А., Никифоров Р.Ю., Белов Н.А.,  
Борисов И.Л., Бермешев М.В.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
г. Москва, Ленинский проспект, д. 29  
E-mail: d.alentiev@ips.ac.ru*

Полинорборнены характеризуются широкими синтетическими возможностями, обусловленными простой синтеза мономеров, их высокой полимеризационной активностью и способностью к полимеризации по различным механизмам, а также перспективными прикладными свойствами (газотранспортными, сорбционными, диэлектрическими и др.). Это делает полинорборнены классом полимеров, удобным как для изучения взаимосвязей между строением полимеров и их свойствами, так и для дизайна новых полимерных материалов различного назначения. В частности, за последние несколько лет было синтезировано большое число полимеров этого класса с высокой селективностью разделения углеводородов, контролируемой растворимостью [1]. Такие материалы имеют потенциал как материалы для мембран для извлечения  $C_{2+}$ -фракций из природного и попутного нефтяного газа. Интересной задачей стало исследование влияние структуры боковых заместителей полинорборненов на селективность разделения углеводородов. В наших недавних работах было показано, что высокая селективность углеводородов может достигаться как для полимеров с жёсткими триметилсилильными либо карбоциклическими заместителями, так и для полимеров с гибкими заместителями, содержащими элементоорганические фрагменты или простые эфирные группы (Рис. 1). В докладе будет представлено обобщение подходов к синтезу таких полимеров и представлен систематический анализ их газотранспортных свойств по отношению к газообразным углеводородам.



**Рисунок 1.** Полинорборнены с высокой селективностью разделения пары газов бутан/метан.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №22-79-10054).

### Ссылки

[1] Wang, X., Wilson T. J., Alentiev D., Gringolts M., Finkelshtein E., Bermeshev M., Long, B. K. Substituted polynorbornene membranes: a modular template for targeted gas separations // Polymer Chemistry. – 2021. – Vol.12. – P.2947-2977.

УДК 541.64

## ЛОКАЛЬНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПЭ И ПОМ-С

Алехина Р.А., Шатохина С.А., Ломовской В.А.*ИФХЭ РАН, Москва, Ленинский пр-кт, д. 31, к. 4  
E-mail: rioraya9@gmail.com*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований и теоретический анализ влияния изменения структуры цепи макромолекул ПЭ и ПОМ-С на физико-химические характеристики диссипативных процессов. В полиэтилене были выявлены три локальных диссипативных процесса различной интенсивности. Процесс, связанный со стеклованием аморфной фазы ПЭ ( $\alpha$ -процесс), на спектре  $\lambda=f(T)$  не проявляется в отчетливой форме, вследствие его полного поглощения низкотемпературной ветвью  $\beta_k$  процесса, характеризующего различие конформационных положений проходных цепей в аморфных межкристаллитных слоях ПЭ, что, в свою очередь приводит к образованию нескольких структурно-кинетических подсистем, построенных из однотипных структурных единиц [1]. Для ПОМ таких исследований не проводилось, следует отметить, что РОМ-Н (гомополиоксиметилен) и РОМ-С (сополимер полиоксиметилена) имеют различную структуру вследствие присутствия в РОМ-С сомомера-триоксана, что приводит к усложнению структуры РОМ-С относительно РОМ-Н и ПЭ и различиям в их физико-механических характеристиках. Проведенные ранее немногочисленные исследования релаксационных явлений в ПОМ по спектрам внутреннего трения, не представили убедительных доказательств механизмов локальных по температуре диссипативных процессов и не смогли дать однозначную атомно-молекулярную трактовку конкретных процессов.

Экспериментальные исследования выявили на спектрах пять диссипативных процессов (I-V), расположенными в различных температурных интервалах и имеющих разницы интенсивности диссипативных потерь ( $\lambda_{max}$ ). Наиболее интенсивными процессами являются II и IV. Данные пики диссипативных потерь являются сложными, то есть составленными как минимум, из двух наложенных друг на друга процессов. Температурные зависимости частоты  $\nu=f(T)$  для исследованных образцов ПОМ обнаруживают существенное отклонение от линейной зависимости в тех температурных областях, где на спектрах  $\lambda=f(T)$  наблюдаются II и IV пики диссипативных потерь. Более подробное детальное рассмотрение данного локального изменения частоты, проведенное при определении дефектов модуля сдвига  $\Delta G$  после теоретического разложения экспериментальных сложных пиков потерь по нормальному гауссовскому распределению позволило выявить аномальности и для других скрытых (в результате наложения друг на друга) диссипативных процессов

**Ссылки**

[1] Lomovskoy V. A.. Spectra of Internal Friction in Polyethylene / V. A. Lomovskoy, S. A. Shatokhina, A. E. Chalykh, V. V. Matveev // Polymers (Basel). - 2022. Vol. 14. № 675.

УДК 667.621:691.175.3

## СОЗДАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Андрианова К.А., Никитин В.С., Амирова Л.М.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н.Туполева-КАИ, Казань, ул.Толстого, 15  
E-mail: KAAndrianova@kai.ru*

Применение традиционных композиционных материалов в ответственных конструкциях сложных технических систем обусловлено их высокой стойкостью к механическим нагрузкам, температуре, трению, вибрации и др. В то же время к разным частям изделия практически всегда предъявляются различные требования как по физико-механическим, теплофизическим, химическим, так и специальным свойствам. Широкие возможности открывает применение так называемых градиентных композиционных материалов с управляемым плавным изменением состава и, соответственно, свойств по сечению изделия в различных направлениях. При этом управление свойствами возможно как за счет изменения состава связующего, так и за счет сочетания различных по природе армирующих наполнителей, их количества и типа переплетения.

В данной работе градиентные композиционные материалы получали путем изменения состава и природы связующего. В качестве технологических процессов получения использовали как традиционные технологии пропитки, так и технологии порошкового напыления.

В результате неравномерности состава в градиентных композитах возникает градиент механических и теплофизических свойств, который к тому же зависит от температуры. Проведена оценка механических и теплофизических характеристик градиентных композитов с известным распределением состава. Температуру стеклования получаемых полимеров определяли методом динамического механического анализа на анализаторе DMA Q800. Механические испытания армированных композитов проводили на универсальной испытательной машине Instron 5882. Коэффициент термического расширения определяли с помощью термомеханического анализатора TMA 402 F3 Hyperion (NETZSCH). Проведена оценка напряжений и деформаций, возникающих в градиентных армированных композитах под действием тепловой нагрузки. Разработана математическая модель и проведена верификация на основе экспериментальной оценки изучаемых свойств градиентных композиционных материалов. Показано, что создание градиента активности связующего за счет плавного изменения его состава позволяет регулировать процесс отверждения композитных деталей большой толщины. Таким образом, создание градиента матрицы позволяет регулировать как процесс отверждения материала, так и его свойства, такие как температура стеклования, теплоемкость, тепловое расширение и другие.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00133, <https://rscf.ru/project/23-23-00133/>.

УДК 533.924:621.039.634:539.534.9:539.211:620.186

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СОПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА

**Андропова У.С.<sup>1</sup>, Черник В.Н.<sup>2</sup>, Новиков Л.С.<sup>2</sup>, Сапожников Д.А.<sup>1</sup>,  
Тебенева Н.А.<sup>3</sup>, Айсин Р.Р.<sup>1</sup>, Серенко О.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 28, 119334*

<sup>2</sup> *НИИ ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ,  
Москва, ул. Колмогорова, 1с2, 119991*

<sup>3</sup> *Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН, Москва, ул. Про-  
фсоюзная, 70, 117393  
E-mail: andropova@ispm.ru*

Легкие, высокопрочные композиты на полимерной основе и полимерные покрытия могут рассматриваться как перспективные материалы для создания современных космических аппаратов (КА) [1]. Эти материалы должны быть способны противостоять воздействиям окружающей среды и обеспечивать надежность и работоспособность КА. В связи с этим к полимерным материалам и покрытиям предъявляется ряд требований, в том числе устойчивость к воздействию атомарного кислорода (АК) [2]. В данной работе были изучены свойства композиционных материалов на основе сополиимидов различной структуры (ПИ-1 и ПИ-2). В качестве прекурсоров для наполнения полимеров *in situ* использовали трис-(метилдиэтоксисилокси)галлий и тетракис(метилдиэтоксисилокси)гафний. Наполнение сополиимидов приводит к снижению удельной потери массы нанокompозитов под действием АК на порядок. Наполненный ПИ-2 проявляет лучшую устойчивость к АК по сравнению с нанокompозитом ПИ-1. На основе анализа скоростей эрозии полимерных пленок впервые показано, что при малых флюенсах стойкость наполненного ПИ-2 к атомарно-кислородной эрозии определяется наполнителем, тогда как при высоких флюенсах защитная функция зависит от обоих компонентов нанокompозита (наполнитель и матрица). В случае нанокompозитов на основе бесилоксанового ПИ-1 их устойчивость к АК-эрозии обусловлена наночастицами независимо от величины флюенса.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-13-00244).

### Ссылки

[1] Gordo, P. System for space materials evaluation in LEO environment // Adv. Space. Res. 2020. №66. P. 307-320.

[2] Wang, X. Mechanically robust atomic oxygen-resistant coatings capable of autonomously healing damage in low Earth orbit space environment // Adv. Mater. 2018. №30. P. 1803854.

УДК 544.032.53

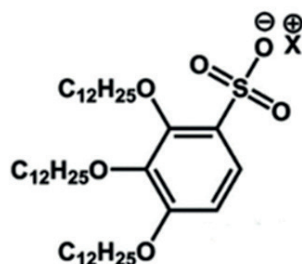
## САМООРГАНИЗАЦИЯ АМФИФИЛЬНЫХ КЛИНООБРАЗНЫХ МЕЗОГЕНОВ В ПОРИСТЫХ ШАБЛОНАХ НА ОСНОВЕ СЕТЧАТЫХ СОПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА

**Анохин Д.В.<sup>1,2</sup>, Гурьева Л.Л.<sup>1</sup>, Курмаз С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики медицинской химии РАН  
142432 Черноголовка, просп. акад. Семенова, 1

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет,  
119991, Москва, Ленинские Горы, 1

Разработка ион-проводящих полимерных мембран для современных топливных элементов в альтернативной водородной энергетике является актуальной задачей современного материаловедения. На основе низкомолекулярных амфифильных клинообразных мезогенов, молекулы которых состоят из жестких гидрофильных и мягких гидрофобных алкильных блоков, способных к самоорганизации с формированием сетки гидрофильных каналов заданной морфологии для транспортировки ионов, могут быть получены химически стабильные, по сравнению с нафионом, мембраны. Например, синтезированные нами ранее 2,3,4-трис-(додецилокси)бензолсульфоновая кислота (2,3,4-ТДОБСН), ее натриевая (2,3,4-ТДОБСNa) и пиридиновая (2,3,4-ТДОБСН<sub>Pyr</sub>) соли (см. формулу, где  $X^+ = H^+, Na^+, [C_5H_5NH]^+$ ) в зависимости от типа противоиона способны образовывать под действием внешнего магнитного поля в сочетании с термической обработкой различные супрамолекулярные структуры – смектические, колончатые, примитивные и гироидные кубические фазы с гидрофильными каналами для транспортировки ионов [1]. Механическую стабильность таких структур можно обеспечить пропиткой полимерной пористой подложки низкомолекулярными амфифильными мезогенами. В настоящей работе методами СЭМ и РСА показана возможность пропитки синтезированными мезогенами нанопористых сетчатых сополимеров N-винилпирролидона с диметакрилатом триэтиленгликоля. Обсуждаются возможные механизмы проникновения расплава в поры полимерной матрицы, а также изменение структуры и ориентация мезогенов в шаблоне в условиях геометрических ограничений. Установлено формирование гироидной фазы для 2,3,4-ТДОБСН и разупорядоченной смектической фазы для 2,3,4-ТДОБСН<sub>Pyr</sub> внутри мембранных пор.



### Благодарность

Работа выполнена по теме государственного задания № 124013000757-0 / 124013000722-8 и с использованием оборудования Аналитического ЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН

### Ссылки.

[1]. D. V. Anokhin, L. L. Gur'eva, et al. Control of Self-Assembly of Amphiphilic Wedge-Shaped Mesogens Using a Combination of Magnetic Field and Temperature Treatment // *Physchem*, 2022, 2, 274–285. <https://doi.org/10.3390/physchem2030020>

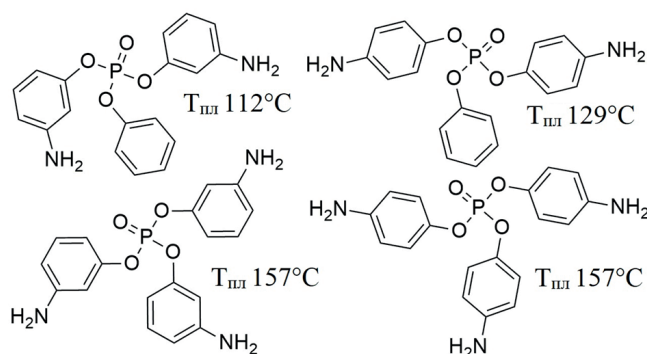
## ФОСФОРСОДЕРЖАЩИЕ АМИННЫЕ ОТВЕРДИТЕЛИ ФТАЛОНИТРИЛОВ

**Асанов Р.К., Морозов О.С., Терехов В.Е.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Кафедра химической технологии и новых материалов, Москва, ул. Ленинские горы, 1 с 11  
E-mail: rustamulo@gmail.com*

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе фталонитрильных связующих всё чаще используются в сферах, где материалы подвержены воздействию высоких температур, потому что обладают высокими прочностными характеристиками при высоких значениях максимальной рабочей температуры. Связующее представляет собой смесь мономеров и отвердителя. Также для использования экономически выгодных безрастворных методов формования, используют активный разбавитель, понижающий температуру плавления смеси.

В данной работе были получены соединения, содержащие гибкий фосфатный мостик и аминогруппы, что позволяет использовать их в качестве отвердителей, проявляющих антипиреновые свойства. Температуры плавления синтезированных веществ [Рис.1] находятся на уровне уже используемых активных разбавителей, позволяющих применять безрастворный препреговый метод формования [1].



**Рисунок 1.** Объекты исследования

Состав и чистота полученных веществ подтверждены методами  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$  ЯМР и масс-спектрометрии, методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) определены температуры плавления. Для сравнения активности полученных соединений изготовлены смеси отвердителей с мономерами – 4,4'-(1,3-фенилен-бис(окси))дифталонитрилом и 4-(4-цианофенокси)фталонитрилом, которые охарактеризовали методом ДСК и реологическими испытаниями. Изготовлены пластики на основе связующих, содержащих полученные отвердители, с эквимолярным содержанием аминогрупп, исследовали методом динамического механического анализа (ДМА) для подбора режима отверждения. На основе исследованных смесей изготовлены ПКМ безрастворным препреговым методом, охарактеризованы механические и термические свойства.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-13-00449)

### Ссылки

[1] Yakovlev M. V. et al. Easy processable tris-phthalonitrile based resins and carbon fabric reinforced composites fabricated by vacuum infusion // Mater Today Commun, 2022. Vol. 33., P. 104738



УДК 541.64

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИ(D,L-ЛАКТИД-СО-ГЛИКОЛИДА) ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Атаманова А.А.<sup>1</sup>, Бозин Т.Н.<sup>2</sup>, Седуш Н.Г.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия*

*E-mail: a.atamanova@ispm.ru*

Поли(D,L-лактид-со-гликолид) (ПЛГА) является одним из наиболее востребованных биоразлагаемых полимеров для создания систем адресной доставки и пролонгированного высвобождения лекарств за счет биосовместимости, низкой иммуногенности и возможности регулировать кинетику высвобождения активного агента. Лекарственные формы пролонгированного действия на основе микрочастиц ПЛГА позволяют снизить токсичность препарата и поддерживать терапевтическую концентрацию действующего вещества в крови в течение длительного времени. Для применения в фармацевтике полимеры ПЛГА должны отвечать высоким требованиям, таким как высокая точность состава, контролируемый тип концевых групп, минимальное содержание непрореагировавших мономеров и остаточных растворителей, а также растворимость в определенных веществах и др. Для синтеза ПЛГА фармацевтического назначения необходимо установить влияние условий реакции на характеристики получаемых полимеров [1].

Основной целью работы является изучение влияния концентрации 1,12-додекандиола и L-молочной кислоты в качестве активаторов в реакции сополимеризации D,L-лактида и гликолида с раскрытием цикла на характеристики получаемых полимеров. Реакции проводили в расплаве при температуре от 140 до 220°C, в качестве катализатора выступал 2-этилгексаноат олова. С помощью <sup>1</sup>H-ЯМР была рассчитана степень конверсии мономеров и состав полимеров. С помощью <sup>13</sup>C-ЯМР была произведена оценка микроструктуры полученных образцов. Показано, что сополимеры со статистической микроструктурой, обладающие хорошей растворимостью в хлороформе, могут быть синтезированы при более высокой температуре реакции. Исследовано влияние типа активатора на содержание карбоксильных групп в сополимерах на основе D,L-лактида и гликолида методом спектрофотометрии. Показано влияние природы концевых групп на скорость гидролитической деградации полимеров. Показано, что по своим характеристикам синтезированный образец ПЛГА 50:50 не уступает импортному аналогу.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание №FFSM-2022-0003).

### Ссылки

[1] Атаманова А.А. Синтез поли(D,L-лактида) с контролируемой молекулярной массой и типом концевых групп / А. А. Атаманова, О. А. Спирин, Н. Г. Седуш // Пластические массы. – 2023. № (9-10). – С. 6-8.

УДК: 544.234.6

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭФИРИМИДА В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРА ДЛЯ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

**Агамас К.А.<sup>1</sup>, Горбунова И.Ю.<sup>1</sup>, Хохлова Е.В.<sup>1</sup>, Полунин С.В.<sup>1</sup>,  
Кербер М.Л.<sup>1</sup>, Шапагин А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва, Миусская площадь, д. 9*

<sup>2</sup>*Институт физической химии и электрохимии РАН им. А.Н. Фрумкина,  
Москва, Ленинский проспект, д. 31, к. 4  
E-mail: mcnion@gmail.com*

В производстве полимерных композиционных материалов (ПКМ) популярность приобрели эпоксидные смолы, которые можно модифицировать термопластами с целью повышения ударно-прочностных характеристик [1]. В связи с этим представляет интерес исследование влияния термопласта на процесс отверждения связующих, а также на физико-механические свойства эпоксидных полимеров.

В данной работе изучали связующие на основе ЭД-20, отвердителя 4,4'-диаминодифенилсульфона и термопластичного модификатора полиэфиримида (ПЭИ).

Процесс отверждения эпоксиаминных связующих исследовали при помощи ротационной и осцилляционной реометрии, диэлектрической спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). В модифицированных эпоксидных полимерах определяли ударную вязкость по Изоду, а также испытывали их на статический изгиб. Морфологию и структуру эпоксидных полимеров изучали методом сканирующей электронной микроскопии на сколах разрушенных образцов, предварительно напылив на их поверхность золото для создания токопроводящей поверхности и улучшения контрастности.

Реологическим и калориметрическим методом показано, что ПЭИ замедляет процесс отверждения связующего, что выражается в повышенном времени гелеобразования и в снижении предельной степени конверсии по ДСК по сравнению с немодифицированной эпоксидной смолой. Введение термопласта в эпоксидное связующее приводит также к уменьшению константы нарастания вязкости системы, к снижению калориметрической константы скорости реакции и энергии активации процесса отверждения.

Ударная вязкость и прочность при изгибе эпоксидного полимера повышается на 121% и 41% при содержании ПЭИ в количестве 15 массовых частей (м.ч.) и 10 м.ч. на 100 м.ч. ЭД-20 соответственно. По-видимому, повышение ударно-прочностных характеристик достигается за счет образования двухфазной структуры в модифицированных полимерах, где частицы, обогащенные ПЭИ, распределены в виде дисперсии в реактопластичной матрице. Термопласт при этом играет роль демпфера при прорастании трещины и повышает энергию разрушения материала.

### Ссылки

[1] Jagrati Kandpal, Samar B. Yadaw, Arun K. Nagpal. Mechanical properties of multifunctional epoxy resin/glass fiber reinforced composites modified with poly(ether-imide). 2013. Vol 4 (3). P. 241-249.

УДК 536.6

## СВЕРХБЫСТРАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ НА ЧИПЕ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМОРФНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Ахьямова А.Ф.<sup>1,2,3</sup>, Мельников А.П.<sup>2</sup>, Рулев И.И.<sup>2,3</sup>, Иванов Д.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ ПХФ И МХ РАН

<sup>2</sup>Химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>3</sup> НИТУ МИСИС

E-mail: azigy@mail.ru

Работа направлена на разработку и практическую реализацию новой экспериментальной платформы на основе MEMS- датчиков для комбинированной *in situ* характеристики теплофизических и структурных свойств сверхмалых количеств образца (от единиц до сотен наногаммов). Разрабатываемая методика термического анализа на чипе скомбинирована с *in situ* Рамановской микроскопией и, таким образом, позволяет дополнить теплофизические данные необходимые для интерпретации быстрых физико-химических процессов структурной информацией. Использование разрабатываемой платформы позволяет провести совершенно недоступные ранее измерения и осуществить комплексный анализ структуры и свойств полиморфных модификаций и процессов деградации: фармацевтических препаратов; функциональных полимерных материалов в условиях различных внешних воздействий. Данные материалы представляют интерес с точки зрения фундаментальной и прикладной науки и были выбраны ввиду их значимости и широкой применимости во всех сферах жизни, таких как медицина, фармацевтика, промышленная очистка воды, нефтехимия и функциональная электроника различной применимости. Уникальный комплекс открывает широкие возможности в изучении предлагаемых материалов. В частности, использование высоких скоростей нагрева и охлаждения позволяет грамотно разделить процессы полиморфизма для нестабильных модификаций материалов, таким образом, получить корректные данные о механизмах и термодинамике таких переходов на миллисекундной шкале.

### Благодарность

Работы выполнены при поддержке государственного задания № FFSG-2024-0017.

УДК 773.92:678.046:535.36

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ФАЗОВОГО РАСПАДА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФОТООТВЕРЖДАЕМЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОПРОПУСКАНИЯ

**Бажанов Д.А.<sup>1,2</sup>, Шапагин А.В.<sup>1</sup>, Хасбиуллин Р.Р.<sup>1</sup>, Щербина А.А.<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева, Россия 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9, стр. 6

E-mail: bazhanov.dmitriy@mail.ru

В последнее время прослеживается тенденция увеличения спроса на фотоотверждаемые материалы для различных применений. В этой связи возрастает интерес к изучению их свойств с целью как разработки новых композиций, так и совершенствования существующих систем. В процессе отверждения модифицированных фотополимеризующихся композиций (ФПК), содержащих в своем составе растворимые полимеры, происходит нарастание молекулярной массы, увеличение вязкости и, как следствие, снижение термодинамической совместимости компонентов, сопровождаемое формированием в зависимости от физико-химических параметров систем различных типов фазовых структур. Поэтому изучение кинетики фазового распада является важной научной задачей, решение которой позволит количественно подойти к регулированию фазовой структуры композита. Для исследования процесса роста фазовых частиц *in situ* в модифицированных термопластичными полимерами ФПК был разработан и апробирован лабораторный стенд, в основу работы которого заложен принцип метода светопропускания при условии облучения когерентными излучениями с длинами волн от 500 до 1000 нм. В основу устройства заложен аппаратно-программируемый комплекс Arduino (Open Source Electronics Platform). Конструкция прибора включает в себя: микроконтроллер Arduino UNO (Original, Италия) для регистрации сигнала с датчика и передачи его в программное обеспечение (Arduino IDE или Visuino); источник излучения с длиной волны 395–405 нм для запуска процесса фотополимеризации; ячейку с образцом 38×31×5 мм, состоящую из двух покровных стекол и регулируемым зазором; аналоговый датчик ML8511 (LAPIS Semiconductor Co., Ltd., Япония), регистрирующий излучение в диапазоне 270–400 нм; OLED-экран для контроля интенсивности проходящего излучения. Разработанное устройство позволяет инициировать химическую реакцию фотополимеризации и оценить *in situ* время начала фазового распада, размер фазовых частиц на разных стадиях реакции фотоотверждения и время фиксации гетерогенной структуры. Полученные на разработанном стенде данные о структуре и кинетике фазового распада фотополимеризующихся систем позволяют целенаправленно регулировать технологические и физико-химические параметры отверждающихся ФПК с целью получения фазовых дисперсных частиц требуемого размера для решения конкретных физико-механических задач. Данные, получаемые на стенде для исследования дисперсных фазовых структур модифицированных ФПК, находятся в хорошей корреляции с данными микроскопических методов исследования фазовой структуры полимерных систем.

УДК

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПДМС СОПОЛИМЕРОВ С ПОЛИУРЕТАНОВЫМИ И ТРИАЗОЛЬНЫМИ БЛОКАМИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ CuAAЦ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

**Баканов К.К.**<sup>1,2</sup>, Ардабьевская С.Н.<sup>1,2,3</sup>, Безлепкина К.А.<sup>1,2,3</sup>, Клокова К.С.<sup>1</sup>,  
Крупнин А.Е.<sup>4</sup>, Бузин А.И.<sup>1</sup>, Кханин Д.А.<sup>5</sup>, Костров С.А.<sup>1,5</sup>, Бакиров А.В.<sup>1,4</sup>, Дроздов Ф.В.<sup>1,2,3</sup>,  
Чвалун С.Н.<sup>1,4</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,5</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,6</sup>, Миленин С.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Профсоюзная улица, 70

<sup>2</sup>Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,  
Тула, проспект Ленина, 125

<sup>3</sup>Московский государственный технический университет им. Баумана,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

<sup>4</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
Москва, пл. Академика Курчатова, 1

<sup>5</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
Москва, Москва, ул. Вавилова, 28

<sup>6</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Ленинские горы, 1  
E-mail: [bakanov@ispm.ru](mailto:bakanov@ispm.ru)

Несмотря на уникальные свойства, не модифицированные полидиметилосиланы (ПДМС) имеют слабые механические характеристики. Для получения требуемых характеристик материалов из ПДМС широко используется метод синтеза сополимеров с сегментированной структурой. В данном случае уретановые фрагменты выступают в качестве жестких сегментов, а силосановые - в качестве мягких.

В нашей работе мы провели исследования по получению сополимеров ПДМС с включением динамических уретановых фрагментов по реакции азид-алкинового циклоприсоединения, катализируемого Cu (I) (CuAAЦ). Синтез таких сополимеров был обусловлен высоким потенциалом влияния триазольного кольца на динамические свойства полимерных цепей и эксплуатационные характеристики конечного материала, а также легкостью и высоким уровнем контроля в реакции CuAAЦ.

Таким образом, в работе представлены первые результаты по получению сополимеров на основе ПДМС с уретановыми фрагментами по механизму реакции CuAAЦ и исследованы некоторые физико-химические свойства полученных сополимеров. Далее было показано, что данные термопластичные полимеры можно использовать для 3D печати синтезированных сополимеров методом экструзионной печати. Также было продемонстрировано получение композитных материалов путем введения частиц радиотехнического карбонильного железа в сополимеры.

### Благодарность

Синтез и модификация сополимеров осуществлены при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-43-00057). Исследование свойств сополимеров выполнено при финансовой поддержке ТПУ Л.Н. Толстого, программа "Приоритет 2030" (соглашение № 073-03-2022-117/7).

УДК 691.175

## ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

**Балькаев Д.А.<sup>1</sup>, Зимин К.С.<sup>1,2</sup>, Ларионов И.С.<sup>1,2</sup>, Ахметова Д.И.<sup>1</sup>  
Амиров Р.Р.<sup>1</sup>, Антипин И.С.<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> НИЛ Синтетические полимерные материалы и композиты, КФУ, Казань, Кремлевская 18

<sup>2</sup> Институт авиации, наземного транспорта и энергетики, КНИТУ-КАИ

им. А.Н. Туполева, Казань, Карла Маркса 10

E-mail: [dinar.balkaev@yandex.ru](mailto:dinar.balkaev@yandex.ru)

Полифениленсульфид (ПФС) - высокоэффективный термопластичный инженерный полимер с выдающимися механическими и термическими свойствами по сравнению с полимерами общего назначения (например, полиэтиленом и полипропиленом) Также полифениленсульфид негорючий (UL94 V-0) и имеет низкое влагопоглощение (0,02-0,04%). Полифениленсульфид применяется в обширных областях, таких как покрытия, клеи, электроника, автокомпоненты и авиакосмическая отрасль. Температура его разложения на воздухе составляет более 450 °С, а температура длительной эксплуатации — около 200°С. Между тем, ПФС также обладает превосходной стойкостью к химической коррозии, и практически не растворим при температуре ниже 200 °С. Помимо сильных кислот и окислителей, ПФС способен противостоять коррозии в растворах практически всех щелочей и солей высокой концентрации.

В связи с высокой текучестью и необходимыми высокими физико-механическими свойствами ПФС, требуется оптимизация условий синтеза для увеличения молекулярной массы и условий обработки до значений, которые позволят изготавливать высококачественные пленочные материалы.

Для дальнейшего промышленного применения пленочных материалов из отечественного ПФС необходима технология, которая может масштабироваться до десятков-сотен тысяч тонн (в отличие от представленной в литературе), что позволит применять их как химически устойчивые электроизоляционные материалы и мембраны. Самая широко применяемая технология для производства пленок из термопластов – экструзия, применение которой и предлагается в данной работе, так как на рынке не представлены пленочные материалы из отечественного ПФС.



УДК

## СИНТЕЗ МЕРКАПТОПРОПИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

**Баранова К.С., Голубев А.А., Солдатов М.А.**

*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,  
125047, Москва, Миусская пл., 9  
E-mail: KsRomanova2014@yandex.ru*

Среди многочисленных способов модифицирования структуры и свойств полимерных пленкообразующих, химическая модификация занимает особое место. Как путь создания систем, с улучшенным комплексом специальных свойств, этот способ получил в настоящее время широкое развитие. С целью направленного регулирования свойств получаемой системы, в качестве модификаторов могут использоваться соединения различной природы.

В данной работе были синтезированы и охарактеризованы различные олигомерные пленкообразующие и олигоорганосилсесквиоксаны с функциональными меркаптановыми группами. На их основе были получены модельные композиции, способные отверждаться под действием УФ-излучения в присутствии соответствующего фотоинициатора и органического растворителя по реакции гидротиилирования.

В ходе работы было исследовано влияние различных режимов отверждения и соотношений исходных олигомеров на характеристики отверждённых покрытий. В результате было выявлено, что полученные системы способны отверждаться за счёт воздействия УФ-излучения, а также были получены закономерности изменения исследуемых свойств. Было показано, что введение олигоорганосилсесквиоксанов в олигомеры позволяет значительно сократить время отверждения и достичь высоких физико-механических характеристик, в некоторых случаях превосходящих характеристики покрытий, получаемых классическим образом.

Данная работа открывает новые перспективы в получении отверждаемых УФ-излучением материалов для покрытий с низким содержанием летучих органических соединений.

УДК 546.04

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛИСИЛАЗАНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ НЕГО ПЛЕНОК ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ

**Барышева А.В., Суворов С.С., Воротынцев А.В.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, 23, корп. 5  
E-mail: alex.barysheva@yandex.ru*

Неорганический полисилазан – это полимер-прекурсор для получения керамики из оксинитрида кремния. Полученные из полисилазана пленки оксинитрида кремния могут применяться для инкапсуляции гибких органических солнечных батарей, за счет возможности проведения процесса низкотемпературного УФ-индуцированного отверждения, а также как материала для многослойных антиотражающих покрытий.

Строение цепи неорганического полисилазана влияет на его свойства. В зависимости от отношения содержания кремния к азоту Si:N в цепи олигомера меняется степень разветвленности цепи, и как следствие – величина усадки пленки при полимеризации. Минимальное значение усадки имеет неорганический полисилазан с разветвленной структурой, в котором отношение Si:N близко к 3. В данной работе экспериментально исследовано влияние параметров процесса синтеза полисилазана на молекулярную массу и строение полимерной цепи и на свойства пленок оксинитрида кремния, полученных из неорганического полисилазана.

В ИК-спектре образца, полученного при максимальном расходе аммиака в реакции аммонолиза дихлорсилана ( $4 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$ ), регистрируется область, соответствующая поглощению связей N—H ( $3380 \text{ см}^{-1}$ ). В ИК-спектре образца, полученного с минимальным расходом аммиака ( $0.5 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$ ), эта область практически не фиксируется. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что при малом расходе аммиака в реакционной зоне возникает избыток дихлорсилана, который приводит к протеканию аммонолиза с образованием разветвленных цепей путем замены связей N—H на N—Si. Потеря массы пленки неорганического полисилазана, измеренная при помощи термогравиметрического анализа составила 1,2 % в интервале температур от 70 до 180 °C, что означает низкую усадку пленки оксинитрида кремния.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта № FSWR-2022–0008

UDC 541.64: 661.725.844: 691.175.743

## ANION-EXCHANGE MATERIAL BASED ON LOCAL RAW MATERIALS FOR REMOVAL OF CHROMIUM(VI) IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

**Davronbek Bekchanov<sup>1</sup>, Sunnat Botirov<sup>1</sup>, Gulbakhor Babojonova<sup>2</sup>,  
Mukhtarjan Mukhamediev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Department of Polymer Chemistry, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

<sup>2</sup> *Department of Pharmaceutical and Chemistry, Alfraganus University, Tashkent, Uzbekistan*

*E-mail: bekchanovdj@gmail.com*

An anion exchange material was obtained from polyvinylchloride by chemical modification with  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  and has been found to efficiently remove highly toxic Cr(VI) ions from aqueous medium. The anion exchange material reveals a clearly defined surface that contains both micropores and mesopores. The removal of Cr(VI) was found to depend on the initial concentration of Cr(VI) ions and solution pH. Effective adsorption took place at pH 3. The sorption kinetics of Cr(VI) ions obeyed pseudo-second-order rate laws with high correlation ( $R^2 \geq 0.996$ ). Isotherm data were analyzed by Langmuir, Freundlich, and Dubinin-Radushkevich (D-R) isotherm models, of which the Langmuir adsorption isotherm model fitted the experimental data best. Cr(VI) ions adsorption on anion exchange material (PPE-2) was found to be endothermic. D-R free energy of adsorption ( $E_p$ ) values were  $>16$  kJ/mol at pH 3 which indicates chemical interaction between ion exchange material and Cr(VI) ions. The value of  $\Delta G^\circ$  was negative confirming the feasibility of these adsorbents for spontaneous adsorption processes. The positive value of  $\Delta S^\circ$  shows that Cr(VI) adsorption increases entropy in the system by releasing  $\text{OH}^-$  during ion exchange. When sorption and desorption cycles of Cr(VI) ions occurred for ten times, the sorption of Cr(VI) by PPE-2 was  $\approx 92\%$ . Hence, it is possible to reuse the anion exchange resin PPE-2 multiple times to clean industrial wastewater from hexavalent chromium ions in an effective way.

### References

- [1] Peng H., Guo J. Removal of chromium from wastewater by membrane filtration, chemical precipitation, ion exchange, adsorption electrocoagulation, electrochemical reduction, electro dialysis, electrodeionization, photocatalysis and nanotechnology: A Review. *Environ. Chem. Lett.* -2020. Vol. 18, -P. 2055–2068.
- [2] Bekchanov D., Mukhamediev M., Lieberzeit P., Babojonova G., Botirov S. Polyvinylchloride-based anion exchanger for efficient removal of chromium (VI) from aqueous solutions. *Polymers for Advanced Technologies.* -2021. Vol. 32, № 10. –P. 3995–4004.

УДК 541.64

## КРИТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СИНТЕЗА ПОЛИМЕТАКРИЛАТНЫХ НАНОГЕЛЕЙ МЕТОДОМ «ЖИВОЙ» ТРЕХМЕРНОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Куручкин С.А.<sup>1,2</sup>, Бубнова М.Л.<sup>1</sup>, **Березин М.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1*

<sup>2</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, корп. 1  
E-mail: berezin@icp.ac.ru, oligo@icp.ac.ru*

Синтез наногелей методом трехмерной радикальной полимеризации осуществляют в сильноразбавленных растворах полифункциональных мономеров с целью увеличения вероятности протекания реакции внутримолекулярной сшивки. На критическую конверсию гелеобразования для таких систем оказывает влияние как соотношение полифункционального мономера и агента «живой» полимеризации, которое определяет длину первичной полимерной цепи, так и разбавление системы инертным растворителем.

Исследована радикальная (со)полимеризация диметакрилата триэтиленгликоля (ДМТЭГ) и метилметакрилата (50:50 мас.%) при разном разбавлении мономеров толуолом в присутствии разных количеств дибензилтретиокарбоната (БТК), как агента обратимой передачи цепи.

При концентрациях БТК, относительно низких по отношению к полифункциональному мономеру ДМТЭГ (3-30 мас.%), влияние длины первичной полимерной цепи, задаваемой концентрацией БТК, на возможность сдвига критической конверсии гелеобразования за 100% очень незначительное. При наименьшем количестве БТК по отношению к ДМТЭГ (3 мас.%) требуется содержание толуола равное 90 мас.%, чтобы получить растворимый продукт, в то время как при содержании БТК 10 и 30 мас.% по отношению к ДМТЭГ растворимые продукты образуются при разбавлении системы толуолом 88 мас.% и более и 86 мас.% и более, соответственно. Содержание дибензилтретиокарбоната в исходной смеси незначительно влияет на минимальное содержание толуола, необходимое для получения растворимого полимерного продукта.

Методом динамического рассеяния света определены гидродинамические радиусы рассеивающих центров в толуольных растворах синтезированных наногелей. Показано, что при увеличении содержания дибензилтретиокарбоната в исходной смеси образуются растворимые полимерные продукты, содержащие преимущественно крупные макромолекулярные объекты с гидродинамическим радиусом ~ 200 нм.

### Благодарность

Работа выполнена по теме Государственного задания (номер государственной регистрации 124013000722-8).

УДК 541.64

## ПОДАВЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ЦИКЛИЗАЦИИ ПРИ «ЖИВОЙ» ТРЕХМЕРНОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ УХУДШАЮЩЕГОСЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА РАСТВОРИТЕЛЯ

Курочкин С.А.<sup>1,2</sup>, Перепелицина Е.О.<sup>1</sup>, Бубнова М.Л.<sup>1</sup>, **Березин М.П.<sup>1</sup>**, Грачев В.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, корп. 1

E-mail: berezin@icp.ac.ru, oligo@icp.ac.ru

Методом радикальной сополимеризации стирола и дивинилбензола с обратимым ингибированием (в присутствии 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксила) в условиях ухудшающегося термодинамического качества растворителя синтезированы разветвленные полистиролы [1]. Полученные полимеры исследованы методами эксклюзионной хроматографии в сочетании со статическим светорассеянием, озонолиза, ЯМР, дифференциальной сканирующей калориметрии. Разветвленные полимеры характеризуются пониженными величинами характеристической вязкости по сравнению с линейными аналогами. Константа уравнения Марка–Куна–Хаувинка для этих полимеров в растворе тетрагидрофурана ( $a = 0.29$ ) подтверждает нелинейную архитектуру макромолекул и в совокупности с высоким содержанием “повешенных” двойных связей свидетельствуют об их разветвленном строении. Сохранение “повешенных” двойных связей в полимере на уровне теоретически рассчитанного количества и выше подтверждает, что в условиях “живой” радикальной полимеризации реакция внутримолекулярной сшивки (циклизации) не является доминирующей даже при разбавлении реакционной смеси осадителем. Температуры стеклования разветвленных полистиролов на 20–35 градусов ниже температуры стеклования линейного полистирола, что косвенно подтверждает отсутствие циклических структур в макромолекулах и демонстрирует возможности регулирования теплостойкости разветвленных полимеров путем варьирования длины первичной полимерной цепи.

### Благодарность

Работа выполнена по теме Государственного задания (номер государственной регистрации 124013000722-8).

### Ссылки

[1] Kurochkin S.A. On the Absence of Cyclic Structures in Branched Polystyrenes Synthesized by Living Three-Dimensional Radical Polymerization in the Medium of a Deteriorating Thermodynamic Quality Solvent / S.A. Kurochkin, L.I. Makhonina, E.O. Perepelitsina, M.L. Bubnova, M.P. Berezin, V.P. Grachev // Polym. Sci. B. – 2023. V. 65. № 3. – P. 284.

УДК 541.183.12

## ВЛИЯНИЕ БИНАРНОГО РАСТВОРА УКСУСНАЯ КИСЛОТА-ВОДА НА ПРОТОНИРОВАНИЕ И ВЯЗКОСТЬ ХИТОЗАНА

**Богданова Т.П.**, Духанина Е.Г., Дрябина С.С., Шулевич Ю.В., Новаков И.А.

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28  
E-mail: s\_dryabina@vstu.ru*

Большой интерес к исследованию хитозана, единственного поликатиона, получаемого из природного сырья, связан, прежде всего, с его уникальными свойствами биоразложения и биосовместимости. Из-за меж- и внутримолекулярных водородных связей хитозан склонен к ассоциации и растворим только в разбавленных растворах кислот, благодаря протонированию аминогруппы  $-NH_2$ , что существенно ограничивает возможности его использования. Поэтому в настоящее время все более актуальным становится разработка способов его химической модификации, основной целью которой является совершенствование растворимости полисахарида в воде. Одним из способов такой модификации является привитая полимеризация. Очевидно, что эффективность прививки будет зависеть от доступности функциональных групп, которая, в свою очередь, определяется конформацией макромолекул хитозана. Целью настоящей работы является изучение гидродинамических свойств, протонирования хитозана (с ММ 100-220 тыс. и СД 73-96%) в бинарных растворах уксусная кислота-вода с целью выявления оптимальных условий проведения привитой полимеризации.

Коэффициент набухания макромолекул хитозана (ХТЗ), обеспечивающий наиболее развернутую конформацию макромолекул, а следовательно и доступность функциональных групп, был оценен по вязкостным характеристикам хитозана в бинарном растворителе уксусная кислота (УК)-вода при различных соотношениях компонентов. В этих же условиях была определена степень протонирования макромолекул хитозана. Зависимость степени протонирования ХТЗ от мольного соотношения  $[УК]/[ХТЗ]$  носит сложный, экстремальный характер. Максимальные значения степени протонирования (44-48%) достигаются при соотношениях  $[УК]/[ХТЗ] = 0,6-0,8$ , затем уменьшаются. Выявлено, что молекулярно-массовые характеристики образцов ХТЗ не оказывают значимого влияния на степень протонирования. Симбатно со степенью протонирования меняется и приведенная вязкость растворов хитозана. Полученные вискозиметрические данные позволяют оценить концентрацию кроссовера, соответствующую границе перехода раствора полимера из разбавленного в полуразбавленный по обратному значению характеристической вязкости. Определенная концентрация кроссовера составляет  $\sim 0,2\%$ .

### Благодарность

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0003 на основании соглашения № 075-03-2023-055 от 13.01.2023)



УДК 537.226

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ В ОБЛАСТИ $\alpha$ -ПЕРЕХОДА

Гайдукова Л.В.<sup>1</sup>, Маслацова А.А.<sup>1</sup>, **Божевольнов В.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева»,

г. Санкт-Петербург, ул. Гапсальская, д. 1

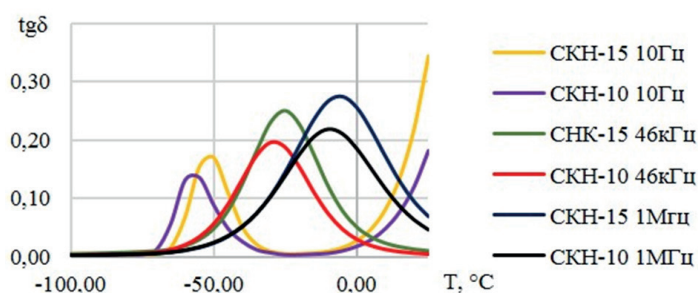
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,

г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д 7-9.

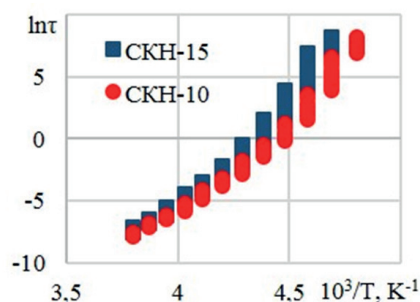
E-mail: vladislav.bogevolnov@gmail.com

Анализ температурно-частотных зависимостей диэлектрической проницаемости позволяет оценить характер функции времени  $\alpha$ -релаксации от температуры.

Объектами исследования являлись бутадиен-нитрильные каучуки СКН-10СНТ и СКНТ-15СНТ, содержащие 10 и 15 масс. % связанного акрилонитрила соответственно. Измерения диэлектрических характеристик проводились в диапазоне частот от 10 Гц до 1 МГц и температур от -120 до +25°C. По температурным зависимостям тангенса диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) на разных частотах (рисунок 1) определён набор частот  $f_{\max}$  и температур, соответствующих максимуму потерь. Время релаксации  $\tau$  рассчитывали по формуле:  $\tau = 1/2\pi f_{\max}$  [1]. На рисунке 2 приведены полученные зависимости логарифма времени релаксации  $\tau$  от температуры.



**Рисунок 1.** Температурно-частотные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) для СКН-10СНТ и СКН-15СНТ



**Рисунок 2.** Зависимость логарифма времени релаксации  $\tau$  от температуры для СКН-10СНТ и СКН-15СНТ

Нелинейная зависимость времен релаксации от температуры характерная для переходов, не подчиняющихся уравнению Аррениуса, указывает на кооперативность движения молекул в рассматриваемом диапазоне температур для исследованных каучуков.

### Ссылки

[1] Kremer F., Schonhals A. Broadband dielectric spectroscopy. – Berlin : Springer, 2003. – 729 с.

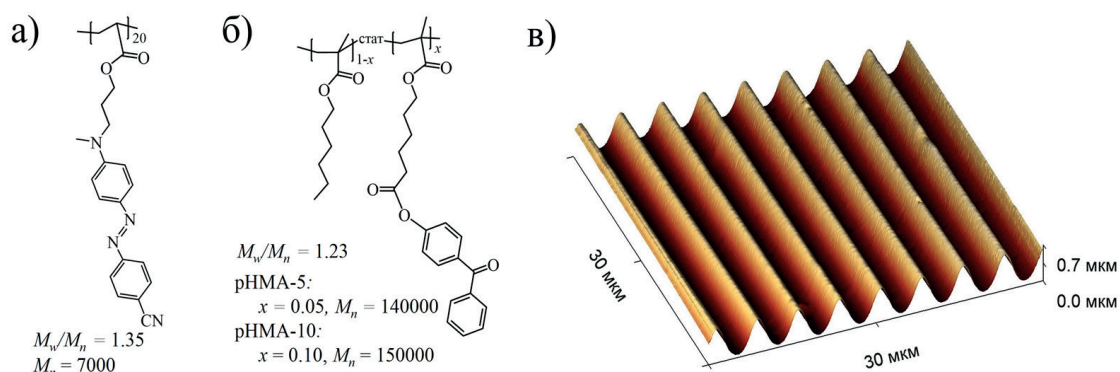
УДК 541.64:539.2

## ГРЕБНЕОБРАЗНЫЕ ПОЛИМЕРЫ РАЗНОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ КАК МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕХАНОНАСТРАИВАЕМЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

**Болдырев В.Н., Попов В.В., Бугаков М.А., Бойко Н.И.**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, 119991 Москва, Россия  
E-mail: [excruciation777@gmail.com](mailto:excruciation777@gmail.com).

В работе продемонстрирован подход к созданию механонастраиваемых дифракционных решеток на основе двух типов гребнеобразных полимеров: фотохромного жидкокристаллического полимера, содержащего азобензольные группы (Рисунок 1а) и гребнеобразных сополимеров, с молярным содержанием бензофеноновых фрагментов от 5 до 10% (Рисунок 1б). Облучение тонких (~700 нм) пленок фотохромного полимера лучом лазера (532 нм) вызывает образование рельефа вследствие фотоиндуцированных процессов массопереноса, что и позволило записать дифракционные решетки методами голографии. Записанные решетки имели период равный 4 мкм, высоту рельефа до 600 нм.



**Рисунок 1.** Химическое строение фотохромного ЖК полимера (а) и фотосшиваемых гребнеобразных эластомеров (б). Топографическое изображение реплики дифракционной решетки, полученное методом АСМ (в).

Фотосшиваемые эластомеры использовали для получения реплик дифракционных решеток, записанных в пленках фотохромного полимера («матрицы»). После облучения реплик УФ светом, вызывающим сшивание эластомеров благодаря наличию бензофеноновых фрагментов, получены эластичные дифракционные решетки, параметры которых близки к исходной матрице (Рисунок 1в). Показано, что растяжение полученных образцов, приводит к изменению периода дифракционной решетки. Рассмотрено влияние степени сшивки эластомеров на их механические свойства, параметры получаемых реплик и максимально достижимые диапазоны изменения периода и угла дифракции при растяжении.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 22-13-00055.

УДК 66.095.262-911.48

## СИНТЕЗ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНЫХ ЛАТЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗВЕТВЛЕННЫХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПАВ

**Борисова Д.М.<sup>1</sup>, Борисов К.М.<sup>1</sup>, Калинина А.А.<sup>1</sup>, Музафаров А.М.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова,  
РАН, Москва, Профсоюзная д. 70*

<sup>2</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва, Вавилова д.28  
E-mail: borisova@ispm.ru*

Гетерофазная полимеризация и по сей день является одним из основных способов производства полимерных материалов. Данный метод синтеза позволяет проводить процесс в водной среде, контролируя молекулярно-массовые параметры полимеров [1]. Полимерные дисперсии используются для защиты металла, дерева и кожи от воды и микроорганизмов, а также в качестве связующих для пигментов и наполнителей [2]. Полиакриловые латексы в свою очередь занимают одно из первых мест по количеству возможных применений, однако для совершенствования и расширения ассортимента необходимо улучшать устойчивость латексов к различным видам воздействий, увеличивать концентрацию полимера, уменьшать содержание остаточного мономера в нем, а также заменить токсичные ПАВ [1, 3]. Внедрение в химические процессы (в т.ч. в гетерофазную полимеризацию) кремнийорганических ПАВ становится все более популярным направлением в последние годы.

В связи с этим целью данной работы является получение латексов эмульсионной полимеризацией метилметакрилата (ММА) с использованием сверхразветвленных полиметилэтоксисилоксанов, модифицированных ПЭГ, в качестве ПАВ.

В докладе будут представлены результаты исследования влияния условий полимеризации и строения разветвленных кремнийорганических ПАВ на характеристики полимерных латексов при гетерофазной полимеризации ММА.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2024-0003).

### **Ссылки**

[1] Злотин С. Г. и др. Парадигма зеленой химии в современном органическом синтезе // Успехи химии. – 2023. – Т. 92. – №. 12. – С. 1-187.

[2] Takamura K., Urban D. (ed.). Polymer dispersions and their industrial applications. – Wiley-InterScience, 2003.

[3] Тюлькина И. С. и др. Получение высококонцентрированных карбоксилсодержащих полимерных дисперсий на основе бутилакрилата методом эмульсионной полимеризации // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87. – №. 3. – С. 383-388.

УДК 678.7

## ПОЛУЧЕНИЕ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИБУТИЛЕН АДИБАТ/ТЕРЕФТАЛАТА С УЛУЧШЕННОЙ СОВМЕСТИМОСТЬЮ

**Ботвин В.В., Савари-Завие М.Д., Ширин К.Н., Коваль Е.О., Березина Е.М.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: v.v.botvin@gmail.com*

Полимолочная кислота (полилактид, ПМК) является одним из наиболее перспективных биоразлагаемых и биосовместимых полимеров, получаемых на основе возобновляемого сырья. К основным недостаткам ПМК можно отнести его достаточно высокую хрупкость и низкие показатели эластичности [1]. Для придания ПМК гибкости и расширения температурного диапазона переработки применяют компаундирование с более гибкоцепными полимерами, в частности, с каучукоподобным полимером полиэфирной природы – полибутилен адипат/терефталатом (ПБАТ) [2]. Однако известно, что данные полимеры обладают низкой совместимостью, поэтому возникает задача по поиску подходов по её увеличению. Для улучшения совместимости ПБАТ/ПЛА применяли добавки сшивающих агентов, в качестве которых использовали пероксид дикумила, пероксид бензоила и пероксид трет-бутила. При добавлении пероксидов при экструзионном смешении полимеров при температуре 140-170 °С пероксиды образуют радикальные центры, которые отрывают от макромолекул ПМК и ПБАТ атомы водорода, образуются полимерные радикалы, которые рекомбинируют между собой. Важно определить оптимальную концентрацию пероксида, чтобы избежать чрезмерного сшивания. Было показано, что концентрация перекиси влияет на механические свойства полученных пленок не только в продольном, но и в поперечном направлении. Таким образом добавление пероксидов к смеси ПБАТ/ПЛА приводит к улучшению технологических свойств смесей, уменьшению дефектности пленок, что может быть использовано при создании биоразлагаемой пленочной продукции.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке программы «Передовые инженерные школы», грант № 075-15-2022-1152 (Постановление № 619 от 8 апреля 2022 г.)

### Ссылки

- [1] Farah, S. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review / S. Farah, D.G. Anderson, R. Langer // *Advanced drug delivery reviews*. – 2016. – Vol. 107. – P. 367-392.
- [2] Масталыгина Е.Е. Фазовая структура и деформационно-прочностные свойства смесей полимолочной кислоты с гибкоцепными полиэфирами / Е. Е. Масталыгина, П. М. Тюбаева, Н. В. Киселев, А. А. Попов // *Пластические массы*. – 2022. – № 7-8. – С. 27-29.

УДК 541.64:542.953.2:547.62

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА НОВЫХ ТЕРМОТВЕРЖДАЕМЫХ ОЛИГОИМИДОВ С КОНЦЕВЫМИ ПРОПАРГИЛОВЫМИ ГРУППАМИ

**Боченков В.С., Рыжков А.И., Шамсутдинова Р.Н., Пискарев М.С.,  
Цегельская А.Ю., Кузнецов А.А.**

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

С использованием разработанной ранее в ИСПМ РАН эффективной методики одностадийной каталитической поликонденсации в активной среде [1] синтезирована серия новых термоотверждаемых олигоимидов с пропаргильными группами (РОИ-ПР) с удлиненной цепью на основе диангирида 2,2-бис[(3,4-дикарбоксифенокси)фенил] пропана (ДАН) и оксидианилина (ОДА). Помимо влияния длины цепи, представляло интерес изучение возможного влияния симметричности фрагмента диамина (3,4- и 4,4- ОДА) на характеристики синтезированных олигоимидов (ОИ). Для введения концевых пропаргильных групп использовали 4-(пропаргиллокси)анилин (АПР), предварительно полученный конденсацией ВОС-замещенного 4-аминофенола с тозилпропаргильным эфиром. РОИ-ПР различаются расчетной длиной цепи, в которой количество звеньев 4,4'-ОДА или 3,4-ОДА, ДАН и ВОС-АПР находилось в следующих отношениях соответственно: 1:2:2 (РОИ-ПР 1 и 2), 2:3:2 (РОИ-ПР 3) и 3:4:2 (РОИ-ПР 4). Структуры всех синтезированных РОИ-ПР подтверждены методами ИК и <sup>1</sup>H-ЯМР спектроскопии. Термическая и термоокислительная стабильность сшитых полимеров была исследована методом ТГА. Значения 10%-ой потери массы полимеров на воздухе превышают 500 °С. Симметричность структуры диаминного фрагмента и молекулярная масса ОИ влияют на температуру перехода в вязкотекучее состояние. После отверждения у всех полимеров отсутствует растворимость в органических растворителях, таких как CDCl<sub>3</sub>, ДМСО, ДМФА, N-МП.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 24-23-20061).

### **Ссылки**

[1] Kuznetsov A.A., Tsegelskaya A.Y. Synthesis of Polyimides in the Melt of Benzoic Acid // Solvents, Ionic Liquids and Solvent Effects, IntechOpen. – 2020. – p. 43-64.

УДК 678.7

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

**Ваниев М.А.<sup>1</sup>, Зосимов А.В.<sup>2</sup>, Колиев И.А.<sup>1</sup>, Небыков Д.Н.<sup>1</sup>, Сидоренко Н.В.<sup>1</sup>,  
Бочкарев Е.С.<sup>1</sup>, Савельев Е.Н.<sup>1</sup>, Ребров Н. В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,  
Волгоград, проспект им. В. И. Ленина, д. 28

<sup>2</sup> ООО «ГК АвтокомТехнолдж», г. Волжский, ул. Александра, д. 58, пом.2, оф.8  
E-mail: vaniev@v.stu.ru

Гидрированный бутадиен-нитрильный каучук (ГБНК) используется в критически важных отраслях промышленности, таких как автомобильной, аэрокосмической, нефтегазовой, где требуются маслобензостойкие эластомеры с высокой тепло- и окислительной стойкостью [1]. Ключевая проблема – отсутствие отечественных ГБНК.

Целью данной работы является изучение процесса каталитического гидрирования бутадиен-нитрильных каучуков, структуры и свойств получаемых резин на их основе.

В докладе представлены результаты гомогенного каталитического гидрирования отечественных бутадиен-нитрильных каучуков. Процесс проводили в растворе 2-метилтетрагидрофурана под действием катализатора Уилкинсона при различной температуре (80-130 °С) и давлении (3,6-5,6 МПа) автоклавным методом. После гидрирования каучук высаживали в этиловый спирт, очищали от катализатора и сушили до постоянной массы.

Для установления степени гидрирования использовали методы ИК-спектроскопии в соответствии со стандартом ISO 14558:2016(E), а также определение йодного числа в соответствии со стандартом ASTM D5902:05(2023). Навеску каучука растворяли в хлороформе, добавляли реактив Вейса и титровали тиосульфатом натрия в присутствии крахмала в качестве индикатора.

В докладе обсуждаются результаты реометрического и рентгенофлуоресцентного методов анализа, а также дифференциально-сканирующей калориметрии.

### Благодарность

Работа выполнена в соответствии с планом ГЗ, шифр проекта № FZUS-2023-0007.

### Ссылки

[1] Akulichiev A. G. et al. Long-term ISO 23936-2 sweet oil ageing of HNBR //Polymer Testing. – 2021. – Т. 102. – С. 107343.



УДК 541.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДОМ АТОМИСТИЧЕСКОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

**Василевская В.В., Гусева Д.В., Лазутин А.А.**

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 28  
E-mail: guseva@polly.phys.msu.ru*

Полимолочная кислота (ПМК) представляет интерес как заменитель полимеров на основе нефти в технических (изготовлении биоразлагаемых пластиков и прочных высококачественных материалов) и медицинских (изготовлении швов, протезов, тканевой инженерии) приложениях, благодаря таким свойствам как биоразлагаемость, перерабатываемость, компостируемость, биосовместимость. При этом ПМК обладает характеристиками, ограничивающими ее использование, такими как хрупкость, относительно низкие температура стеклования и температура плавления, медленная кристаллизация, и высокая гидролитическая и термическая нестабильность. Материалы с улучшенными свойствами могут быть получены с использованием ПМК, состоящей из L- и D-стереоизомеров. Изучение связи между химическим строением и макроскопическими свойствами таких систем с помощью методов компьютерного моделирования является важной задачей.

В рамках метода полноатомной молекулярной динамики (МД) была построена модель ПМК на основе силового поля «General Amber Force Field», которая позволила получить согласующиеся с экспериментальными данными и данными моделирования структурные и теплофизические свойства аморфных систем ПМК, а также воспроизвести кристаллическую структуру ПМК в  $\alpha$ -форме [1]. С помощью данной модели было изучено влияние энантиомерного состава на свойства. Проанализированы различные конфигурации переходов LL и LD. Подтверждено, что гибкость цепей увеличивается с уменьшением региорегулярности (увеличением содержания случайно-распределенных димеров DD). Показано более сильное взаимодействие цепочек из L-звеньев с цепочками из D-звеньев, чем с цепочками такой же длины из L- или чередующихся L- и D-звеньев. Полученные результаты могут быть полезны для производства ПМК с заданными свойствами.

### **Благодарность**

Расчеты проводились с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### **Ссылки**

[1] Guseva D. V., Lazutin A. A., Vasilevskaya V. V. Atomistic simulation of poly (lactic acid) of different regioregularity // Polymer. – 2021. Vol. 221. – P. 123577 (1-14).

УДК 677.494.745.32

## ОСОБЕННОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СМЕСЕВЫХ РАСТВОРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗА-ПАН ВО ВРЕМЕНИ

**Виноградов М.И., Макаров И.С., Голова Л.К., Куличихин В.Г.**

*ИНХС РАН, г. Москва, Ленинский пр. 29*

*E-mail: m.i.vinogradov1989@yandex.ru*

Для получения прекурсоров углеродных волокон широко используют целлюлозу и различные сополимеры полиакрилонитрила (ПАН). Представляет интерес получение композитных типов прекурсоров. Поскольку температура плавления целлюлозы выше чем температура деструкции перерабатывать ее можно только через раствор. В свою очередь, ПАН, в промышленности, также получают методом растворения. Для получения целлюлозных волокон наиболее популярным растворителем стал N-метилморфолин-N-оксид (NMMO) (ММО-процесс), являющийся экологически чистой альтернативой вискозному процессу. Известно, что NMMO также является и растворителем для ПАН, что позволяет получать смесевые растворы на основе данных полимеров (целлюлоза-ПАН).

Для обеспечения стабильного формирования волокон, вне зависимости от способа, (мокрый, сухо-мокрый или механотропный), важным параметром является стабильность реологических свойств раствора. В условиях оптимальных параметров формирования, в особенности температуры и концентрации, целлюлозные растворы демонстрируют хорошую стабильность. Растворы ПАН, в свою очередь, подобной стабильностью не обладают. Для смесевых двухфазных растворов, целлюлозы с ПАН в NMMO, а раствор дисперсной фазы (целлюлозы) может оказать положительное влияние на время жизни (стабильность) системы.

На основе описанной гипотезы была проведена работа по исследованию стабильности смесевых растворов целлюлоза-ПАН в NMMO от времени с различным соотношением компонентов в области доминирования дисперсной среды раствора ПАН. Исследование растворов показало, что введение ПАН в целлюлозу приводит к снижению вязкости. В свою очередь показано что добавление целлюлозы в ПАН увеличивает срок жизни раствора при температурах 90-100 градусов. Увеличение температуры до 120-130 градусов сокращает время «жизни» смесевых растворов. Показано, что активное изменение комплексной вязкости наблюдается для систем с содержанием ПАН 40% и более. Также важно отметить что с ростом концентрации ПАН стадия роста наступает раньше.

Опираясь на выявленные реологические особенности смесевых систем были сформированы волокна в более мягких условиях и достигнуты скорости формирования 150-170 метров в минуту.

УДК 541(64+515):547:39

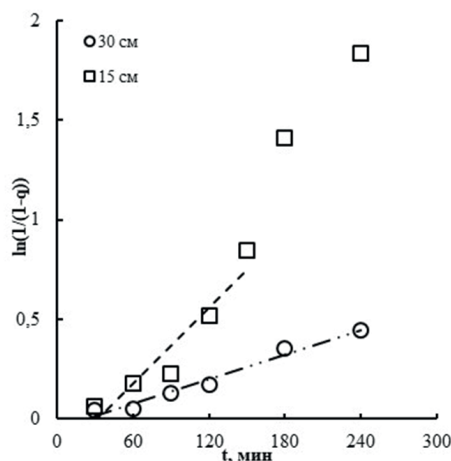
## РЕТ-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА В ПРИСУТСТВИИ ДИОКСИДА ТИТАНА И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

**Власова А.О., Краснова В.В., Чичаров А.А., Зайцев С.Д.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 5  
E-mail: krasnoovavera.q@mail.ru*

РЕТ-RAFT полимеризация в настоящее время является одним из интенсивно развивающихся направлений полимерной химии. Она основана на альтернативной активации RAFT-агента с помощью фотоиндуцированного переноса электрона/энергии по механизму присоединения–фрагментации. Использование света в качестве источника энергии дает возможность регулировать процесс по интенсивности и длине волны и проводить процесс в мягких условиях. В данной работе в качестве фотокатализатора выбран  $TiO_2$  в полиморфной модификации анатаза, а также полимерные композиционные материалы, содержащие наночастицы диоксида титана и/или диоксида циркония. Целью работы являлось исследование РЕТ-RAFT полимеризации метилметакрилата в присутствии указанных выше фотокатализаторов на основе диоксида титана с использованием 4-циано-4-(додецилкарбонотиоилтио)-пентановой кислоты (ЦДТПА) в качестве RAFT агента.

На первом этапе исследования был изучен фотолиз ЦДТПА под действием УФ-излучения на разных расстояниях от источника света (300W OSRAM ULTRA-VITALUX) в диметилформамиде и диоксане. Далее были получены конверсионные зависимости процесса полимеризации метилметакрилата в присутствии диоксида титана в полулогарифмических координатах. С уменьшением расстояния до источника света происходит уменьшение диапазона конверсий, позволяющих проводить процесс в контролируемом режиме, что связано с фотолизом трифиокарбонатных групп.



**Рисунок 1.** Зависимость конверсии от времени в полулогарифмических координатах.

Начиная с конверсии 57% (2.5 часа) на расстоянии 15 см конверсионная зависимость отклоняется от линейной (Рис. 1.). Затем были исследованы кинетические особенности процесса полимеризации метилметакрилата в присутствии композитов, содержащих наноразмерные частицы диоксида титана. У полученных полимеров определены молекулярно-массовые характеристики, дисперсность образцов не превышала 1.36.

УДК 620.179.18

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КОМПОЗИТА ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ

**Воронина С.Ю., Фесик С.А., Семенуха О.В., Еремин Н.В.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий им. ак. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31  
E-mail: simkina\_svetlana@mail.ru*

Существуют различные устройства мониторинга, основанные на использовании волоконно-оптических датчиков, датчики акустической эмиссии, тензорезисторов, инфракрасной термографии, тепловизорных камерах, однако они имеют высокую стоимость оборудования и сложность в применении к мониторингу конструкций (железнодорожные пути, трубопроводов или мосты). Среди существующих систем мониторинга наиболее перспективной является система, основанная на методах тензо- и термометрии. Тензодатчики на основе проводящих полимерных материалов по сравнению с обычными имеют ряд преимуществ: они легкие, гибкие, растягивающиеся, менее хрупкие по сравнению с неорганическими чувствительными элементами, имеют нелинейные вольтамперные характеристики [1-2]. Нами проводилась оценка тензочувствительности полимерного композита, модифицированного наноматериалами, который может быть использован в сенсорной системе мониторинга состояния конструкций при растяжении.

Образцы композитов были изготовлены на основе эпоксидной смолы. В качестве наполнителя для вариации функциональных характеристик полимерных композитов в составы добавлялись как магнитные частицы, углеродные нанотрубки и SiC. Образец представлял собой прямоугольный параллелепипед с медной сеткой. Тензочувствительный эффект обнаруживался через измерения изменения сопротивления материала при растяжении полимерного композиционного материала.

Установлено, что магнитные частицы не оказывают положительного влияния на тензочувствительность полимерного композита, а наилучший результат показал образец с наполнителем, состоящим из углеродных нанотрубок и SiC.

### Ссылки

- [1] Cui X., Jiang Y., Xu Z., Xi M., Jiang Y., Song P., Zhao Y., Wang H. Stretchable strain sensors with dentate groove structure for enhanced sensing recoverability // Composites Part B: Engineering. – 2021. Vol. 211, 108641.  
[2] Salari M., Sansone N. D., Razzaz Z., Taromsari S. M., Leroux M., Park Chul B., Lee P. C. Insights into synergy-induced multifunctional property enhancement mechanisms in hybrid graphene nanoplatelet reinforced polymer composites // Chemical Engineering Journal – 2023. Vol. 463, 142406.

УДК 678:579. 504.5

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ СМЕСЕЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПОЛИАМИДА 6/66

**Воронцов Н.В.**<sup>1,2</sup>, Марголин А.Л.<sup>1</sup>, Монахова Т.В.<sup>1</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИБХФ РАН им. Н.М. Эмануэля, г. Москва, ул. Косыгина 4, 119991

<sup>2</sup> РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Стремянный пер. 36, 117997

E-mail: nikolayvorontsov1993@gmail.com

Изучено влияние термоокисления на структуру смесей на основе изотактического полипропилена (ПП) и алифатического полиамида 6-66 (ПА) при 130 С. Композиты получены смешиванием полимеров в брабендере при 190 С в атмосфере аргона при содержании полиамида 5, 10, 20, 30, 40, 50 % масс.

Данные, полученные методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и FTIR, указывают на несовместимость двух полимерных фаз в смесях. Энтальпия плавления смесей при окислении увеличивается, что объясняется хемокристаллизацией ПП при окислении ПП. Установлено, что компонент ПА6/66 замедляет рост энтальпии ПП в процессе окисления ПП. Согласно данным ДСК смесей ПП/ПА6/66 на воздухе, фаза ПА6/66 значительно повышает температуру начала окисления смесей ПП/ПА6/66, что указывает на улучшенную термическую стабильность нового материала.

Измерение структурных характеристик смесей в сочетании с анализом микроизображений травленных поверхностей пленок [1, 2] подтверждает изменение морфологии смесей.

Анализ кристалличности смесей по ДСК и ИК Фурье спектроскопии показал близкие результаты. Так, для неокисленных образцов кристалличность ПП, определенная методом ДСК в смесях ПП/ПА при содержании 0-20 мас.% ПА можно считать постоянной со средним значением  $47 \pm 1\%$ . Также для неокисленных образцов кристалличность ПП, определенная методом FTIR в смесях ПП/ПА при содержании ПА 0-20 мас.%, постоянна со средним значением  $49 \pm 2\%$ . При повышении содержания ПА выше 25-30% наблюдается некоторое снижение степени кристалличности, обусловленное образованием непрерывной сетки ПА, ограничивающей подвижность и кристаллизацию молекул ПП.

### Ссылки

[1] Vorontsov N.V., Popov A.A., Margolin A.L. The Effect of Compatibilization on the Properties of Mixtures of Polypropylene with Aliphatic Polyamide. // AIP Conference Proceedings. - 2020. Vol. 2310. - 020351 DOI:10.1063/5.0034385

[2] Vorontsov N. V., Margolin A. L., Popov A. A. Study of the thermal properties of mixtures of polypropylene with aliphatic polyamide // AIP Conference Proceedings. - 2022. - Vol. 2509. - 020206 DOI:10.1063/5.0085480

УДК 678:579. 504.5

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СМЕСЕЙ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПОЛИАМИДА 6/66

**Воронцов Н.В.**<sup>1,2</sup>, Марголин А.Л.<sup>1</sup>, Монахова Т.В.<sup>1</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИБХФ РАН им. Н.М. Эмануэля, г. Москва, ул. Косыгина 4, 119991

<sup>2</sup> РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Стремянный пер. 36, 117997

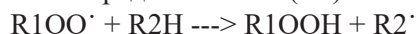
E-mail: nikolayvorontsov1993@gmail.com

Изучено неингибированное термоокисление композитов на основе изотактического полипропилена (ПП) и алифатического полиамида 6-66 (ПА) при 130 С. Композиты получены смешиванием полимеров в брабендере при 190 С в атмосфере аргона при содержании полиамида 5, 10, 20, 30, 40, 50 % масс.

Поглощение кислорода смесями ПП/ПА6/66 при 130 °С протекает с большим временем индукции окисления (ОИТ), которое увеличивается с увеличением содержания ПА6/66. После окончания ОИТ устанавливается постоянная скорость окисления, характерная для механизма автоокисления. Кинетический анализ термического окисления смесей ПП/ПА6/66 проведен на основе двух моделей автоокисления полиолефинов с разложением гидропероксида по реакциям 1-го и 2-го порядка. Установлено, что обе модели описывают экспериментальные кинетические кривые поглощения кислорода. Рассмотрены два возможных объяснения ингибирования окисления ПП фазой ПА6/66.

Таким образом, анализ кинетики окисления и структуры смесей ПП/ПА показал, что ингибирование фазой ПА окисления ПП можно объяснить двумя механизмами:

1. Обмен активных радикалов ПП (R1) на малоактивные радикалы ПА (R2) по реакции



2. Снижение скорости распада ROOH из-за изменения структуры смесей ПП/ПА (упрочнения и ограничения подвижности ПП фазы при переходе от капельно-матричной структуры при небольшом содержании ПА к непрерывным структурам ПА и ПП при содержании ПА более 20%).

Полученные данные по ингибированию окисления ПП фазой ПА6/66 показывают, что смешанные отходы ПП и ПА6/66 могут быть переработаны при высоких температурах без дополнительных антиоксидантных добавок. Кроме того, при создании биоразлагаемых полиолефинов необходимо учитывать эффект ингибирования ПА, поскольку бактерии и грибы разлагают полиолефины посредством процессов окисления [1].

### Ссылки

[1] Vorontsov N. V., Popov A. A., Margolin A. L. The effect of thermal oxidation on biodegradation of isotactic polypropylene, polyamide 6/66-4 and their mixtures. // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2167. - 020388. DOI:10.1063/1.5132255.



УДК 543.544

## УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИОНООБМЕННИКОВ НА ОСНОВЕ СШИТЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ

Карпюк Е.А.<sup>1</sup>, Пастухов А.В.<sup>2</sup>, Гавлина О.Т.<sup>1</sup>, Каргов С.И.<sup>1</sup>, Иванов В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет,  
119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3, ГСП-1, МГУ, химический факультет

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1.

E-mail: ogavlina@mail.ru

Ионообменные смолы на основе сшитых полиэлектролитов считаются весьма прочными и не склонными к механическому истиранию. Более значительной является их осмотическая нестабильность, выражающаяся в постепенном разрушении зерен в результате многократного изменения ионной формы. Поэтому исследованию их механических свойств уделялось очень мало внимания, хотя с упруго-пластическими свойствами связаны и осмотическая нестабильность, и кинетическое поведение.

В настоящей работе дилатометрически изучены упруго-пластические свойства сферических зерен промышленных слабокислотных и сильнокислотных ионитов в опытах с постоянным одноосным сжатием и последующей разгрузкой при комнатной температуре в зависимости от ионной формы и концентрации раствора электролита.

Обнаружено, что ионная форма полиакрилата и полиметакрилата, сшитых, соответственно, диметакрилатом триэтиленгликоля и дивинилбензолом, и концентрация внешнего раствора влияют на их упруго-пластические свойства. В разбавленных растворах хлорида натрия и хлорида кальция гели проявляют упругие свойства с близкими относительными амплитудами деформирования. Амплитуда деформирования зерна полиметакрилата, сшитого дивинилбензолом, в Ni-форме в разбавленном растворе хлорида никеля оказалась значительно ниже, чем у Ca-формы, со значительным вкладом пластической деформации. С увеличением концентрации внешнего раствора хлоридов кальция и никеля под действием механической нагрузки на зерно полиметакрилата, сшитого дивинилбензолом, уменьшалась общая деформация гранулы, а также величина упругой деформации, а остаточные (пластические) деформации увеличивались. В концентрированных растворах CaCl<sub>2</sub> и NiCl<sub>2</sub> такой ионит становился неупругим жестким материалом, для которого даже при повышенных механических нагрузках величина упругих деформаций сжатия очень невелика.

Анализ деформационного поведения сферических зерен набухшего в воде сильнокислотного полистирольного катионита с привитыми сульфогруппами, сшитого дивинилбензолом, в K-форме показал, что для него также характерны упругие деформации, т.е. полимер находится в высокоэластическом состоянии, хотя и заметен небольшой вклад остаточных (пластических) деформаций. Однако полистирольная матрица более жесткая по сравнению с полиакриловыми и полиметакриловыми катионитами в форме иона щелочного металла, поэтому амплитуда деформирования существенно меньше. Для такого катионита в Ca- и Ni- формах даже в концентрированных растворах преобладающими являются упругие деформации.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 121031300090-2).

УДК 542.91:541.49+541.64:66.095.264.3-036.742

## ПОСТМЕТАЛЛОЦЕНОВЫЕ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ 4 ГРУППЫ С ЛИГАНДАМИ ON-ТИПА В СИНТЕЗЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

**Гагиева С.Ч., Магомедов К.Ф., Тускаев В.А., Булычев Б.М.**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Химический факультет,  
Российская Федерация, 119992 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.  
E-mail: sgagieva@yandex.ru*

Фенокси-иминные комплексы металлов 4 группы (FI) являются, пожалуй, самым исследованным классом пост-металлоценовых пре-катализаторов использующихся в полимеризации олефинов, сравнимые по своей эффективности с наиболее «удачными» металлоценами [1-2]. Каталитические системы с участием FI комплексов титана катализируют реакции полимеризации и сополимеризации всех основных олефиновых мономеров и с высокой активностью и беспрецедентной селективностью тримеризуют этилен до гексена-1 [2]. Эти каталитические системы способны продуцировать сверхвысокомолекулярный полиэтилен с низкой степенью переплетения макромолекул [3-4]. Такой полимер может быть переработан безрастворным твердофазным способом в высокопрочные и высокомодульные пленки и нити – материалы, востребованные в разных отраслях промышленности, но, на сегодняшний день, в России не производимые. Однако широкое внедрение FI-катализаторов в нефтехимическую промышленность в значительной степени осложняется спецификой их активации. Как правило, для их активации используются алкилалюмоксаны (MAO, MMAO) или комбинации трис(перфторфенил)боратов или тетракис(перфторфенил)боратов с производными триалкилалюминия (ТИБА), стоимость которых намного превышает стоимость сами комплексов и к тому же малодоступных в РФ.

В данной работе нами синтезированы хлоридные и алкоксидные FI комплексы титана(+4) и циркония(+4). Полученные соединения протестированы в реакции полимеризации этилена, в присутствии в качестве активатора как MAO, так и на доступных и сравнительно дешевых смесях алкилалюминийхлоридов и магнийорганических соединений (Al/Mg со-катализаторы). Установлено, что эти смеси способны более эффективно, чем MAO, активировать фенокси-иминные комплексы Ti(+4) и производить сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) с производительностью близкой к 4000 кг ПЭ·моль<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup> атм<sup>-1</sup>. Показано что полученные на разработанных каталитических системах порошки СВМПЭ могут быть переработаны в высокопрочные ориентированные пленки безрастворным методом, не уступающие по механическим характеристикам аналогам, в том числе и полученных методом гель-формования.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-13-00089. Анализы соединений и продуктов реакций методом ЯМР проводили в рамках Госзадания АААА-А21-121011590086-0.

УДК 542.91:541.49+541.64:66.095.264.3-036.742

## КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНА С ЦИКЛИЧЕСКИМИ ПОЛИЭФИРАМИ КАК ПРЕ-КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛЕФИНОВ

**Гагиева С.Ч., Магомедов К.Ф., Тускаев В.А., Булычев Б.М.**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Химический факультет,  
Российская Федерация, 119992 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 3.  
E-mail: sgagieva@yandex.ru*

Каталитическая реакция полимеризации олефинов Циглера-Натта, по мнению современных исследователей, протекает по механизму координации-внедрения: координации мономера на вакантную орбиталь атома переходного металла в активном центре, и внедрение мономера по связи М-С, образовавшейся при активации соединения переходного металла металлорганическим соединением алюминия. Подавляющее большинство пре-катализаторов пост-металлоценового типа представляют собой нейтральные комплексы переходных металлов 4-6 и 8-10 групп, которые также, как и классические, в процессе активации подвергаются алкилированию с последующим отщеплением хотя бы одной алкильной группы и вероятным образованием катиона. Полученный катионный промежуточный продукт стабилизируется анионом, образующимся из активатора.

В данной работе получены как катионные, так и анионные каталитические системы, состоящие из ионных гомо- и гетерометаллических комплексов титана и щелочных металлов и Al/Mg активаторов. Синтез катионных комплексов титана+3 осуществлен либо в результате восстановления молекулярных соединений титана+4 в присутствии сильных оснований Льюиса с последующим комплексообразованием, либо прямым взаимодействием комплексов солей титана+3 с подходящим лигандом и предшественником аниона ( $\text{AlCl}_3$ ). Катионный комплекс состава  $[\text{TiCl}_2 \cdot 15\text{-Crown-5}]^+ [\text{AlCl}_4]^-$  был получен обоими методами: восстановлением  $\text{TiCl}_4$  диэтилалюминийхлоридом ( $\text{Et}_2\text{AlCl}$ ) в присутствии краун-эфира и взаимодействием комплекса  $\text{TiCl}_3 \cdot 3\text{TGF}$  с 15-краун-5 и безводным  $\text{AlCl}_3$ .

Ионные комплексы состава  $[\text{M} \cdot \text{Crown}]^+ [\text{TiCl}_3]^-$ , где М - Li, Na, K; Crown - дибензо-18-краун-6, бензо-15-краун-5, дибензо-24-краун-8, были синтезированы взаимодействием хлорида щелочного металла, тетрахлорида титана и краун-эфира в безводном толуоле. Изучение каталитической активности систем с синтезированными соединениями проводилось на модельной реакции полимеризации этилена в условиях, способствующих получению полимера с низкой степенью переплетения макромолекул. Полученные результаты показывают, что они не зависят от заряда фрагмента с атомом титана (катион, анион) и изменяются в диапазоне 1920 – 4650 кг/моль час атм. Эти значения существенно превышают активность системы с молекулярным диметоксиэтановым комплексом титана, что подтверждает наше предположение о способности макроциклических лигандов – краун-эфиров эффективно стабилизировать каталитически активные частицы.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-13-00089. Анализы соединений и продуктов реакций методом ЯМР проводили в рамках Госзадания АААА-А21-121011590086-0.

УДК 577.11

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА

**Гаспарян К.Г.<sup>1</sup>, Тюбаева П.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Стремянный переулок, 36

<sup>2</sup> ИБХФ имени Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Косыгина, 4

E-mail: [gasparyan.kr@yandex.ru](mailto:gasparyan.kr@yandex.ru)

Современное направление в материаловедении фокусируется на разработке инновационных биосовместимых материалов для костной и тканевой инженерии, основанных на комбинациях биополимеров и функциональных добавок [1]. Актуальность исследования заключена в создании биосовместимых материалов с контролируемым высвобождением кальция в организме [2]. Задача была решена путем синтеза нетканого материала на основе поли-3-гидроксибутирата (ПГБ) с высоким содержанием  $\alpha$ -трикальцийфосфата ( $\alpha$ -ТКФ). Нетканые волокнистые материалы получены методом электроформования из растворов ПГБ,  $\alpha$ -ТКФ в концентрациях 0%, 3%, 10% и 30%. Дополнительно, растворы были подвергнуты ультразвуковой обработке, чтобы предотвратить слипание частиц. Чтобы определить влияние  $\alpha$ -ТКФ на структуру материала и его функциональные свойства, были проведены морфологические, механические и теплофизические анализы.

Морфологические характеристики были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), анализ показал, что введение  $\alpha$ -ТКФ ведет к уменьшению среднего диаметра волокон при 3% и 10%  $\alpha$ -ТКФ, а также к появлению отдельных более толстых волокон при 20% и локальных утолщений при 30%. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) была применена для оценки теплофизических свойств материалов. Введение  $\alpha$ -ТКФ влияло на температуру плавления и энтальпию плавления, а также на степень кристалличности материала. Механический анализ показал, что с увеличением концентрации  $\alpha$ -ТКФ прочность материала уменьшалась, но низкие механические показатели не влияют на эксплуатационные свойства.

Полученный волокнистый материал на основе ПГБ с  $\alpha$ -ТКФ обладает высокой биосовместимостью и остеоиндуктивными свойствами, подчеркивая его потенциал для медицинских применений. Полученные материалы обладают высокой пористостью и контролируемым высвобождением кальция в организме, что актуально для регенеративной медицины.

### Ссылки

[1] Праманик С.; Харче С.; Море Н.; Ранглани Д. Природные биополимеры для инженерии костной ткани: краткий обзор. // Реген. – 2023. - № 4. – С. 193-204.

[2] Mohapatra, S. Bioconversion of fish solid waste into PHB using Bacillus subtilis based submerged fermentation process / S. Mohapatra // Ref. Libr. – 2017. Vol. 38, № 5824. – P. 1-22.

УДК 541

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦИС-БУТАДИЕНОВЫХ И ИЗОПРЕНОВЫХ КАУЧУКАХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА

**Гилфанова Л.И., Латыпова З.Г., Темникова Е.В.**

*Нижнекамскнефтехим*

*E-mail: temnikovaev@nknh.sibur.ru*

Определение содержания примесей элементов в каучуках широко используется в химических лабораториях. Это связано с тем, что повышенное содержание металлов ускоряет процесс окисления каучуков и ухудшает их свойства. Содержание вредных элементов контролируется не только в готовой продукции, но и в процессе производства резины. В целом анализ каучуков является сложной задачей из-за их физического состояния и требует применения комплекса методов. Наиболее перспективными методами являются атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Также для анализа каучуков используется атомно-эмиссионная спектроскопия с дугой переменного тока (ACES), позволяющая исследовать твердые образцы.

Несмотря на то, что данные методы различаются способами пробоподготовки, они позволяют одновременно определить несколько элементов в широком диапазоне концентраций с низкими пределами обнаружения и высокой воспроизводимостью результатов. Однако, результаты, полученные разными методами, имеют различные погрешности измерений. Также есть сложности с определением правильности измерений из-за отсутствия стандартных образцов и нормативных документов (ГОСТ, ASTM, МИ), позволяющих проводить определения металлов именно в каучуках.

Значительные погрешности в любой химический анализ вносит процедура пробоподготовки. Подготовка проб с использованием таких методов, как микроволновое разложение в герметичном реакционном сосуде, считается наиболее надежным и эффективным. Но в отсутствие таких систем и при тщательном проведении экспериментов, несмотря на ряд недостатков, путем мокрого и сухого озоления можно добиться высокой точности и воспроизводимости результатов.

В представленной работе описаны результаты определения примесей металлов в стереорегулярных бутадиеновых и изопреновых каучуках, полученных разными методами анализа и подготовки проб.

УДК 541(64+183):539.199

## КОНФОРМАЦИИ МАКРОМОЛЕКУЛ ПОЛИАМФОЛИТОВ С РАЗЛИЧНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИОНОГЕННЫХ ГРУПП: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Китина П.В.<sup>1</sup>, [Глаголева А.А.](#)<sup>1</sup>, Василевская В.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
Москва, ул. Вавилова, 28*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва,  
Ленинские горы, 1-3  
E-mail: starostina@polly.phys.msu.ru*

Полиамфолитами называются полимеры, содержащие как положительно, так и отрицательно заряженные мономерные звенья. Полиамфолиты перспективны для различных практических применений, а также могут служить синтетическими аналогами белков. Особый интерес представляет изучение конформационного поведения полиамфолитов в растворе, что важно как для понимания биологических процессов, так и для использования в практических приложениях.

В работе методом молекулярно-динамического моделирования исследованы конформации предельно заряженных цепей полиэлектролитов в изоэлектрической точке в случаях чередующегося, блочного и случайного распределения противоположно заряженных групп. Определены области клубковых и глобулярных конформаций в зависимости от типа распределения заряженных групп вдоль цепи, степени полимеризации, длины Бьерума. Исследованы структура и упаковка полимерных цепей в глобулах. С использованием методов машинного обучения построены диаграммы конформационных состояний исследованных макромолекул.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-73-20104-П), с использованием вычислительных ресурсов Суперкомпьютерного центра МГУ им. М.В. Ломоносова [1].

### Ссылки

[1] Voevodin V., Antonov A., Nikitenko D. et al. Supercomputer Lomonosov-2: Large Scale, Deep Monitoring and Fine Analytics for the User Community // Supercomput. Front. Innov. – 2019. Vol. 6(2). – P. 4-11.



УДК 544.35; 544.77; 544.169

## МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПРОЯВЛЯЮЩИЕ БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА

Глевицкая Т.А., Латышевич И.А., Гапанькова Е.С., Бильдюкевич А.В.

*ГНУ «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, ул. Сурганова, 13*

Мембраны на основе ацетата целлюлозы находят широкое применение в промышленных процессах очистки благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, экологичности и относительно низкой стоимости [1,2]. Однако мембраны из ацетата целлюлозы легко загрязняются из-за низких антибактериальных свойств, что ограничивает их применение и развитие. Синтез и последующая иммобилизация нового экологически чистого биоцида на основе лесохимического сырья (имида смеси смоляных кислот) в состав формовочного раствора на основе ацетата целлюлозы позволили разработать высокоэффективные композиционные мембраны на основе ацетата целлюлозы для ультрафильтрации, проявляющие биоцидные свойства по отношению к широкому спектру микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и грибы.

Синтез иминов осуществляли в химическом реакторе при постоянном перемешивании, температуре  $190 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 6ч. Состав полученных биоцидов контролировали методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры получали на ИК-Фурье спектрометре «Protégé 460» фирмы «Nicolet» (США) со спектральным разрешением  $4\text{ см}^{-1}$ , исследуя образцы биоцидов в виде таблеток, спрессованных с мелкодисперсным КВг.

Детальное исследование эксплуатационных характеристик разработанных композиционных мембран (электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, определение пористости селективного слоя, изучение транспортных характеристик мембран) показало, что введение 0,5-1,0 масс.% биоцидов в состав формовочных растворов не сказывается на транспортных свойствах мембран, однако способствует повышению устойчивости мембран к биозагрязнению.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект №Х23УЗБ-086)

### Ссылки

- [1] Abou-Zeid, N. Y. Preparation, characterization and antibacterial properties of cyanoethylchitosan/cellulose acetate polymer blended films / N. Y. Abou-Zeid et al. // Carbohydrate Polymers. – 2011. Vol. 84, № 1. – P. 305-412.
- [2] Etemadi, H. Study on the reinforcing effect of nanodiamond particles on the mechanical, thermal and antibacterial properties of cellulose acetate membranes / H. Etemadi, R. Yegani, V. Babaeipour // Diamond and Related Materials. – 2016. Vol. 69. – P. 166-176

УДК 542.67:539.2:541.6

## ПОЛОВОЛОКОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ

**Глевицкая Т.А., Любимова Е.С., Бильдюкевич А.В.**

*ГНУ «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Минск, ул. Сурганова, 13*

Работа посвящена получению полволоконных тонкослойных композиционных газоразделительных мембран с внутренним селективным слоем с использованием межфазной поликонденсации с последующим нанесением слоя полидиметилсилоксана (ПДМС) на полисульфоновую мембрану-подложку. В ходе работы исследовано влияние концентрации аминного (триэтилтетрамин (ТЭТА)) и ацильного (изофталалхлорид (ИФХ)) компонентов и условий нанесения слоя ПДМС на изменение газопроницаемости композиционных мембран при разделении смеси газов O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>. Установлено, что после формирования селективного слоя методом межфазной поликонденсации, независимо от используемых мономеров и их концентрации, получены полые волокна с высокими значениями газопроницаемости (GPU  $\geq 1000$ ), при этом фактор разделения ( $\alpha$ ) O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> составил около 1. После нанесения дополнительного слоя с использованием 1-3 масс. % растворов ПДМС фактор разделения увеличивался до 1,5-3,7. Показано, что максимальное значение фактора разделения зафиксировано в довольно узком диапазоне концентраций ТЭТА (0,15-0,6%) и только при определенных эквивалентных соотношениях ТЭТА/ИФХ. Первый максимум ( $\alpha$  O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>=3,5) наблюдался при соотношении концентраций (масс.%) ТЭТА/ИФХ=0,15/0,26, второй максимум - при соотношении концентраций ТЭТА/ИФХ=0,6/0,15. При этом проницаемость композиционных мембран по кислороду составляла 107 и 76 GPU соответственно.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект №Х22КИТГ-012).

УДК 544.6.018.47-036.5

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СОЛЯМИ ИМИДАЗОЛИЯ ПОРИСТЫЕ СВЕРХСШИТЫЕ ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ CO<sub>2</sub>

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

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), г. Нижний Новгород

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва  
E-mail: a.golovachiova@yandex.ru

Чрезмерные выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) - один из основных факторов глобального потепления. В тоже время CO<sub>2</sub> является широко распространенным, дешевым и возобновляемый строительным блоком C1, что вызывает большой интерес к его улавливанию и преобразованию в ценные органические продукты. Каталитическое образование циклических карбонатов посредством циклоприсоединения CO<sub>2</sub> к эпоксидам является одним из наиболее многообещающих подходов к утилизации диоксида углерода.

Пористые органические полимеры на основе ионных жидкостей (ПИЖ) являются многообещающими кандидатами для эффективной адсорбции и каталитического превращения CO<sub>2</sub> в циклические карбонаты. Введение фрагментов ионных жидкостей (ИЖ) в полимерную структуру позволит объединить их преимущества: большая удельная площадь поверхности и высокая микропористость полимерной структуры эффективны для улавливания CO<sub>2</sub>; ИЖ обладают сродством к CO<sub>2</sub>, а их анионы являются активными нуклеофилами для раскрытия эпоксидного кольца.

Нами разработаны высокопористые полимерные катализаторы на основе имидазолия с различными функциональными группами (-COOH, -NH<sub>2</sub>, -OH и др.) и противоионами (-Cl, -Br, -I). Катализаторы обладают сшитой полимерной структурой, высокой удельной площадью поверхности (до 750 м<sup>2</sup>/г) и обильной пористостью. Исследовано влияние различных факторов на степень вхождения фрагмента ионной жидкости в полимерную структуру и удельную площадь поверхности катализатора. Также, произведен скрининг катализаторов в реакции синтеза циклических карбонатов на основе CO<sub>2</sub> и ряда оксидов алкенов, что позволило выявить связь между функциональным составом ионного фрагмента катализатора и выходом/ селективностью целевого продукта. Адсорбционная емкость полученных катализаторов достигает 0,83 моль/г CO<sub>2</sub>, а выход целевого продукта более 90% при каталитической реакции в условиях 70 °С и 3 атм CO<sub>2</sub> происходит менее, чем за 5 ч.

### Благодарность

Проект выполнен в рамках исполнения государственного задания № 075-03-2024-160 вн. номер № FSSM-2024-0006 от 17.01.2024 г.

УДК 541.64+579.61

## НОВЫЕ БИОЦИДНЫЕ ФИЗИЧЕСКИ СШИТЫЕ ГИДРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ КАРРАГИНАНА И ГУАНИДИНИЕВЫХ ПОЛИАМФОЛИТОВ

**Горбунова М.Н.<sup>1</sup>, Овчарук А.В.<sup>2</sup>, Лемкина Л.М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> «ИТХ УрО РАН», Пермь, ул. Королева 3

<sup>2</sup> ПГНИУ, Пермь, ул. Букирева 15

<sup>3</sup> «ИЭГМ УрО РАН», Пермь, ул. Голева, 13

E-mail: mngorb@yandex.ru

Гидрогели представляют собой трехмерную полимерную сетчатую структуру, способную поглощать воду и другие биологические жидкости. В отличие от прочных химически сшитых гидрогелей, которые могут обладать вредными свойствами, обуславливающими их непригодность для медицинского применения, физически сшитые гидрогели благодаря высокой биосовместимости и нетоксичности представляют интерес для медицины.

Данное исследование посвящено синтезу физически сшитых гидрогелей, состоящих из гуанидиниевых полиамфолитов и каррагинана. Полиамфолиты на основе 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидинхлорида и ненасыщенных кислот (акриловой, метакриловой, кротоновой, винилуксусной) получены методом радикальной сополимеризации в присутствии ДАК. Гидрогелевые пленки каппа-каррагинан/полиамфолит были получены путем физического сшивания двух полимеров хлоридом калия и бурой соответственно. Методы ЯМР, ИК, СЭМ, ТГА, РФА и элементного анализа были использованы для характеристики композитных пленок. Образцы сшитых пленок демонстрируют степень набухания 5.38, 5.90, 3.99 и 3.23 % за 120 мин для гелей на основе акриловой, метакриловой, кротоновой, винилуксусной кислот, соответственно, сохраняя свою структурную целостность в течение по меньшей мере 72 часов.

Композитные пленки нагружали антибиотиком ампициллином и было проведено детальное исследование высвобождения лекарственного средства. Высвобождение ампициллина составляет 32, 30, 43 и 41 % для гелей на основе акриловой, метакриловой, кротоновой, винилуксусной кислот, соответственно.

Пленки, наполненные ампициллином, показали превосходный антимикробный эффект: они обладают антимикробной активностью по отношению как к грамположительным, так и к грамотрицательным микроорганизмам.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-23-00073).

Авторы благодарят Центр коллективного пользования ПФИЦ УрО РАН «Исследование материалов и вещества» за спектральные, аналитические и биологические исследования.

УДК 541.64

## СИНТЕЗ ГОМО- И СОПОЛИМЕРОВ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ

Павловская М.В., Криуличев И.П., Долганов Е.Д., **Гришин Д.Ф.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23  
E-mail: grishin@ichem.unn.ru*

Два наиболее эффективных метода контролируемой радикальной полимеризации (Atom Transfer Radical Polymerization – ATRP и Reversible Additional Fragmentation Chain Transfer – RAFT) успешно применены для синтеза полистеарилметакрилата (полиСМА) и сополимеров СМА с глицидилметакрилатом, N-винилпиперидином (ВП), N-изопропилакриламидом и N, N-диметилакриламидом.

В процессах ATRP в качестве катализаторов были использованы комплексы бромиды меди (I) с азотсодержащими лигандами: трис(2-пиридил)амином и трис[2-(диметиламино)этил]амином. Показано, что в присутствии моно-, би- и трифункциональных галогенсодержащих инициаторов удается синтезировать гомо- и сополимеры СМА с заданной молекулярной массой и узким молекулярно-массовым распределением, характерным для процессов контролируемой радикальной полимеризации. Исследовано влияние природы инициатора на пространственную структуру синтезированных полимеров.

Для синтеза аналогичных (со)полимеров был также применен метод RAFT-полимеризации с использованием 2-цианоизопропилдодецилтриитокарбоната. Показано, что процессы гомо- и сополимеризации протекают в контролируемом режиме. Методом  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии определен состав синтезированных сополимеров, на основании которого рассчитаны относительные активности полимеризующихся мономеров.

Синтезированные сополимеры различной молекулярной массы и состава апробированы в качестве присадок к гидроочищенному дизельному топливу (ДТ). Установлено, что введение указанных присадок оказывает значительное влияние на низкотемпературные свойства топлива и позволяет существенно понизить температуру застывания, температуру помутнения и температуру предельной фильтруемости ДТ. Причем сополимеры СМА с кислород- и азотсодержащими мономерами более эффективны в качестве присадок, чем полиСМА. В случае применения ряда сополимеров СМА с указанными выше мономерами депрессорный эффект превышает 21 градус. Эффект от введения синтезированных присадок не уступает аналогичному влиянию некоторых импортных присадок, применяемых в настоящее время в реальном секторе экономики.

### **Благодарность.**

Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду за финансовую поддержку проводимых исследований (проект № 23-23-00087).

УДК 544.03 41.64:539.199

## ТРАНСЛЯЦИОННАЯ И ОРИЕНТАЦИОННАЯ ДИФФУЗИЯ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ В РАСПЛАВЕ

**Громова Н.Р., Маркелов Д.А.**

*СПбГУ, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9*

*E-mail: nai.khus@yandex.ru*

В последние десятилетия дендримеры привлекли значительное внимание научного сообщества благодаря их потенциальным применениям в различных областях, включая катализ, медицину, электронику и покрытия поверхностей [1]. Одним из важных аспектов, позволяющих определить их свойства и поведение, является диффузия в различных средах. Эта работа посвящена исследованию карбосилановых дендримеров в расплаве с помощью трансляционной и ориентационной диффузии. Понимание этих процессов имеет важное значение для практического использования дендримеров, в том числе для разработки новых материалов и технологий на их основе. Три генерации (2,3,4) полибутилкарбосиланового дендримера были промоделированы в ячейке, заполненной 125 дендримерами при температуре 600К. Моделирование было проведено в пакете GROMACS с использованием атомистической модели [2] в силовом поле GROMOS. Для каждой системы проводилось уравновешивание в течение 1мкс. Далее моделирование продолжалось еще 1мкс для получения равновесной траектории.

Установлено, что в расплаве, перед диффузионным режимом наблюдается режим субдиффузии, который не наблюдался при моделировании раствора, при котором наклон кривой в двойной логарифмической шкале заметно отличен от 1. Мы исследовали этот режим с помощью среднеквадратичного смещения (MSD) и автокорреляционной функции скоростей дендримеров (VACF). Наклон скорости VACF –  $\beta$  коррелирует с наклоном субдиффузии, определенным из MSD  $\alpha$ , соответствуя выражению  $\beta = \alpha - 2$ , для всех трех генераций. Кроме того, нашей целью было проверить применимость метода ориентационной диффузии для определения гидродинамического радиуса в случае расплава. Ряд преимуществ этого метода был обнаружен для раствора карбосиланового дендримера в хлороформе[3].

### **Благодарность**

Моделирование проводилось в Центре компьютерных ресурсов Санкт-Петербургского государственного университета.

### **Ссылки**

- [1] Yamamoto, K., Imaoka, T., Tanabe, M., Kambe, T. New Horizon of Nanoparticle and Cluster Catalysis with Dendrimers. Chemical reviews. – 2020. – 120(2). – С. 1397–1437.
- [2] Шишкин А.Н., Маркелов Д.А., Матвеев В.В. Молекулярно Динамическое Моделирование Расплавов Полибутилкарбосилановых Дендримеров При 600 К. – 2016. – С. 67–74.
- [3] Khusnutdinova N.R., Markelov D.A. Hydrodynamic radius of dendrimers in solvents // Phys. Chem. Chem. Phys. The Royal Society of Chemistry. – 2023. – Vol. 25, № 41. – P. 28220–28229.



УДК 661.728; 539.25; 535.371

## КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И НАНОЧАСТИЦ $\beta$ - $\text{NaYF}_4:\text{Yb/Er}$

**Гурков П.А.**<sup>1</sup>, Громовых Т.И.<sup>1,2</sup>, Каримов Д.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет»,  
107023, Москва, ул. Большая Семёновская, 38

<sup>2</sup>Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники  
НИЦ «Курчатовский институт», 119333, Москва, Ленинский пр., 59  
E-mail: gurkov.pawel@yandex.ru

По мере развития нанотехнологий в последние годы набирает обороты электроника на основе органических полимеров, таких как органические светоизлучающие диоды (OLED), органические фотоэлектрические элементы (OPV) и органические полевые транзисторы (OFET) [1]. Одновременно наблюдается значительный интерес к разработке современных материалов, полученных из природных источников. Бактериальная целлюлоза (БЦ) представляет собой природный полимер, синтезируемый многими микроорганизмами, что делает его очень доступным и дешёвым [2]. Бактериальная целлюлоза демонстрирует отличные физические и механические свойства, в том числе нерастворимость, быструю биоразлагаемость, прочность на разрыв, эластичность, долговечность, а также не токсичность и не аллергенность, что делает (БЦ) идеальным для многих областей, включая активную и интеллектуальную упаковку пищевых продуктов, датчики, очистку воды, доставку лекарств, заживление ран и в качестве гибких подложек для применения в органической электронике.

Наиболее перспективными наноразмерными преобразователями ИК-света в изучении широкого спектрального диапазона, являются неорганические частицы  $\text{NaYF}_4$  легированные ионами РЗЭ, вследствие своих уникальных фото-физических свойств так, как они имеют спектрально-оптические, структурные и физические показатели для их массового применения.

В данной работе рассмотрены различные методики получения, сравнения и исследование композитных полимерно-неорганических плёнок на основе бактериальной целлюлозы и ап-конвертирующих фторидных наночастиц способных к люминесценции.

### Ссылки

- [1] Burroughes J. H. et al. Light-emitting diodes based on conjugated polymers //nature. – 1990. – Т. 347. – №. 6293. – С. 539-541.  
[2] Baruah J. et al. Recent trends in the pretreatment of lignocellulosic biomass for value-added products //Frontiers in Energy Research. – 2018. – Т. 6. – С. 141.

УДК 541.64:66.095.26

## МИКРОПОРИСТЫЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ НА БАЗЕ ПЛЮРОНИКА И О-ПОЛИИЗОЦИАНАТА В КАЧЕСТВЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Ли Е.Д.<sup>1</sup>, Давлетбаев Р.С.<sup>2</sup>, Сафиуллин К.Р.<sup>1</sup>, Сазонов О.О.<sup>1</sup>,  
Зарипов И.И.<sup>2</sup>, Давлетбаева И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, ул. Карла Маркса 68

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань, ул. Красносельская, 51  
E-mail: katystayls@gmail.com

Сенсорные мембранные материалы широко применяются для определения катионов и анионов. Строение и морфология мембраны являются той основой, которая обуславливает быстрый ионный обмен на границе раздела фаз мембрана / раствор. Перспективными в качестве сенсорных мембран являются блок-сополимеры (БС). Важной особенностью БС является их способность образовывать большое разнообразие надмолекулярных структур. Упорядоченность и размеры таких надмолекулярных образований обусловлены химическим строением, молекулярными массами блоков, способностью блоков к сегрегации и реакционными условиями. Для создания новых надмолекулярных архитектур, обладающих специфическим поведением при самосборке перспективен контролируемый синтез БС.

На основе терминированного калий-алкоголятными группами плюроники (ММ=4200, содержание окисэтиленовых звеньев 30%) и 2,4-толуилеидиизоцианата (ТДИ) были синтезированы и исследованы нанопористые оптически прозрачные блок-сополимеры (ОБС). Были установлены реакционные условия, при которых в составе ОБС образуются полиизоцианаты ацетальной природы (О-полиизоцианаты). Для улучшения микрофазового разделения ОБС были модифицированы устойчивыми к самоконденсации связанными ионами Cu(II) кремнезёмами (ASiP-Cu). Особенностью строения ASiP-Cu является существование в их структуре полиоксиэтиленовых ответвлений. Было установлено, что использование ASiP-Cu позволяет укрепить структуру О-полиизоцианатных блоков и усилить микрофазное разделение ОБС.

Для создания аналитических сенсоров на основе микропористых блок-сополимеров были получены тест-системы путем нанесения селективного слоя ОБС на поверхность полиэтилентерефталатной пленки. Полученные тест-системы были исследованы в качестве аналитических сенсоров для определения ионов тяжёлых металлов.

### Благодарность

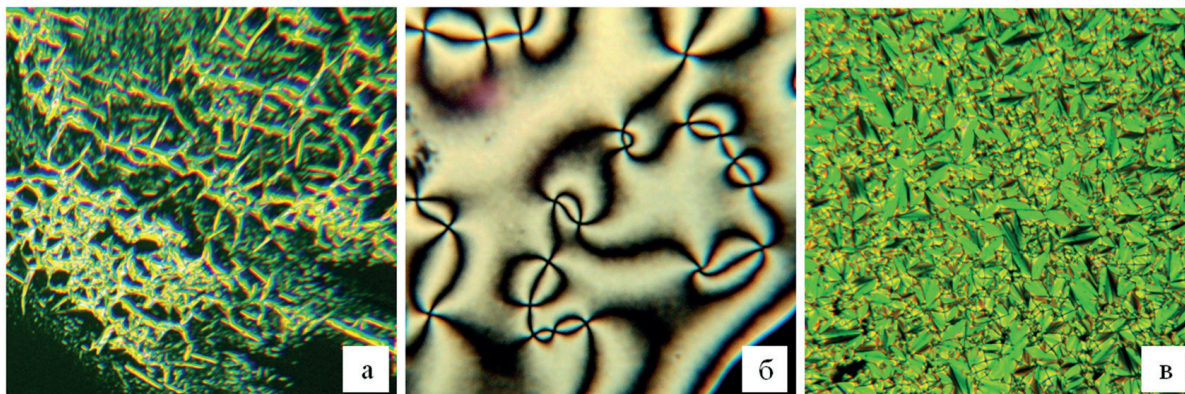
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-23-10012).

УДК 541.64:544.25

## МЕЗОГЕННЫЕ ВИНИЛКЕТОНЫ И ПОЛИМЕРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

**Дериков Я.И.<sup>1</sup>, Белоусов Д.Р.<sup>1</sup>, Безбородов В.С.<sup>2</sup>, Тальрозе Р.В.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Москва, Россия*<sup>2</sup> *Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь**E-mail: derikov@ips.ac.ru*

Исследованные винилкетоны представляют собой объёмные молекулы, мезогенные заместители в которых присоединены к винильной группе через гибкий алифатический спейсер. В работе были изучены физико-химические свойства и активность в реакциях радикальной полимеризации мезогенных винилкетонов: 8-(3'-хлоро-4'-пентил-[1,1'-бифенил-4-окси)окт-1-ен-3-она (БВК), 8-((4''-((1R,4S)-4-бутилциклогексил)-2'-хлоро-[1,1',4',1''-терфенил]-4-ил)окси)окт-1-ен-3-она (ТВК) и 8-[2'-хлоро-4'''-октил-[1,1':4',1'':4'',1'''-кватерфенил-4-окси)окт-1-ен-3-она (КВК).



**Рисунок 1.** Микрофотографии текстур полимеров п-БВК (а), п-ТВК (б) и п-КВК (в)

Для указанных винилкетонов было продемонстрировано протекание самоиницированной полимеризации при повышенных температурах, радикальной полимеризации при использовании распространённых радикальных инициаторов и полимеризации с обратимой деактивацией цепи с применением асимметричных тритиокарбонатов в качестве агентов обратимой передачи цепи (ОПЦ). Было подтверждено протекание полимеризации по радикальному механизму и по механизму ОПЦ и изучена фотодеградация синтезированных поливинилкетонов при облучении светом ближнего УФ диапазона.

УДК 53.096 + 541.64 + 544.77 + 537.226.1

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА (IV) НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

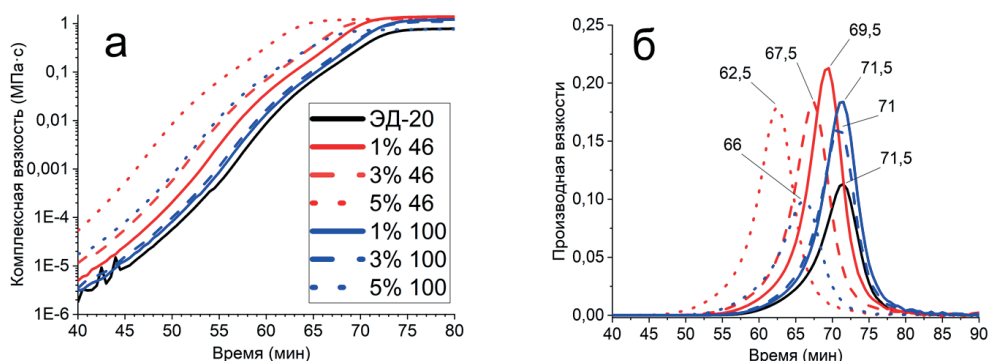
Букичев Ю.С.<sup>1,2</sup>, Тарасов А.Е.<sup>1</sup>, Богданова Л.М.<sup>1</sup>, Голубева Н.Д.<sup>1</sup>, Джардималиева Г.И.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
E-mail: dzhardim@icp.ac.ru

Эпоксидные нанокompозиты, содержащие частицы диоксида титана (IV) ( $\text{TiO}_2$ ), привлекают все большее внимание в области материаловедения и инженерии, благодаря улучшенным характеристикам. При этом мало внимания уделяется влиянию наночастиц на кинетику отверждения полимерной матрицы, что важно для оптимизации производства материалов. Поэтому целью работы стало изучение влияния размера и концентрации наночастиц  $\text{TiO}_2$  на кинетику отверждения эпоксидной смолы.

В работе использовали систему на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 и 4,4'-диаминодифенилметана, как отвердителя. В качестве наполнителя использовали наночастицы  $\text{TiO}_2$  двух размеров:  $d_{\text{cp}} = 46$  и 100 нм. Степень отверждения определяли посредством реологических исследований на реометре Anton Paar MCR 702 Twin Drive при постоянной температуре 90 °С на системе плоскость-плоскость ( $d = 25$  мм). Показано, что  $\text{TiO}_2$  влияет на время достижения точки максимальной скорости отверждения. Этот эффект определяется по точке перегиба кривых вязкости, что более наглядно прослеживается по первой производной (рис. 1). При концентрации  $\text{TiO}_2$  5 масс. % максимальная скорость отверждения достигается на 9 и 5.5 минут раньше при использовании  $\text{TiO}_2$   $d_{\text{cp}} = 46$  и 100 нм, соответственно, по сравнению с нативной смолой. Такой эффект может быть связан с участием  $\text{TiO}_2$  в процессе отверждения.  $\text{TiO}_2$   $d_{\text{cp}} = 46$  нм вызывают более заметные изменения, по сравнению с  $d_{\text{cp}} = 100$  нм, вероятно, за счет большей площади удельной поверхности (42.5 и 13.3 м<sup>2</sup>/г соответственно).



**Рисунок 1.** Кривые вязкости (а) и первой производной вязкости (б) в процессе отверждения ЭД-20 с варьированием размера и концентрации  $\text{TiO}_2$ .

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Гос. задания (регистрационный номер темы 124013000757-0 и 124020800013-7).

УДК 66.081.6

## МОДИФИКАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ

**Дмитренко М.Е., Михайловская О.А., Кузьминова А.И., Дубовенко Р.Р., Пенькова А.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, 199034, Россия  
E-mail: m.dmitrienko@spbu.ru*

Первапорация – перспективный мембранный метод для разделения жидких смесей низкомолекулярных веществ, который нашел активное применение для дегидратации (обезвоживания) различных органических растворителей. Быстрое развитие первапорации требует разработки новых экологичных полимерных материалов, в частности, из биополимеров, и высокоэффективных мембран на их основе. Альгинат натрия - важный биополимер, активно используемый в различных промышленности и мембранной технологии благодаря высокой биосовместимости, низкой токсичности и пленкообразующим свойствам. Основными недостатками первапорационных мембран из альгината натрия являются относительно низкая стабильность в растворах с высоким содержанием воды и недостаточная удельная производительность для перспективного промышленного применения.

В данной работе были использованы объемная и поверхностная модификации альгината натрия с целью получения высокоэффективных первапорационных мембран для обезвоживания спиртов. Объемная модификация была проведена путем введения полиэлектролита (полиэтиленимина) и углеродных наночастиц – производных фуллерена и оксида графена, а поверхностная модификация – методом ионного наслаивания различных полиэлектролитов. Структура и физико-химические свойства разработанных композитов и мембран из них были изучены различными методами спектроскопии, микроскопии, термогравиметрического анализа, измерением углов смачивания и степени набухания, др. Было показано, что применение данных способов модификации привели к существенному увеличению удельной производительности мембран из альгината натрия при обезвоживании спиртов за счет изменений в структуре и физико-химических характеристиках модифицированных мембран.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01070, <https://rscf.ru/project/23-73-01070/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Магнитно-резонансные методы исследования, Криогенный отдел, Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Методы анализа состава вещества, Наноконструирование фотоактивных материалов и Вычислительный центр Санкт-Петербургского Государственного Университета.



УДК 66.081.6-278

## ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Кузьминова А.И., Пенькова А.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: r.dubovenko@spbu.ru*

В современном мире, где все большее внимание уделяется экологическим проблемам и вопросам водоснабжения, разработка эффективных методов очистки воды и фракционирования сложных систем представляет собой востребованную задачу для человечества. Мембранные технологии, основанные на использовании полимерных мембран, представляют собой перспективное решение, позволяющее эффективно удалять загрязнения, концентрировать и фракционировать компоненты смеси. В свою очередь, создание новых мембранных материалов, обладающих улучшенными свойствами, является основным направлением мембранных исследовательских групп.

К основной стратегии разработки новых мембран относят проведение объемной и поверхностной модификации полимерных матриц. Использование модификаторов позволяет существенно изменить транспортные характеристики, структуру и морфологию пленок, топологию поверхности, механизмы взаимодействия компонентов разделяемой смеси с материалом мембраны.

Использование квантово-химических (КХ) методов может предоставить исследователям уникальные возможности для: (а) более глубокого понимания механизмов взаимодействий на молекулярном уровне, в частности, для оценки типов нековалентных взаимодействий и их сил, (б) прогнозирования/предсказания результата и (в) интерпретации полученных данных.

В данной работе были продемонстрированы возможности применения КХ расчетов в качестве дополнительного метода исследования для предсказания и интерпретации результатов при создании новых полимерных мембран со смешанной матрицей на основе производных целлюлозы. Полная оптимизация геометрии всех модельных структур была выполнена с использованием ПО Gaussian 16 W (B3LYP/6-311++G\*\*). Для рассчитанных структур был проведен топологический анализ (QTAIM), анализ порядка связей и построены NCIPLOT.

Полученные результаты подтвердили и объяснили полученные физико-химические и транспортные свойства разработанных композитных мембран.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-79-10064, <https://rscf.ru/project/20-79-10064/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: МРЦ-НТ, ИТКН, РДМИ, МАСВ, ВЦ, ФМИП, НФМ Санкт-Петербургского Государственного Университета.



УДК 541.6

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБУХАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЯХ****Елисеева М.А., Гумеров Р.А., Анахов М.В., Потемкин И.И.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: marii.eliseeva@gmail.com*

Полимерные микрогели – уникальные макромолекулярные объекты, сочетающие в себе свойства линейных полимерных цепей, коллоидных частиц и поверхностно-активных веществ. Будучи адсорбированными на жидкой межфазной границе, такие мягкие частицы испытывают сильные деформации, занимая большую площадь по сравнению с твердыми частицами, что позволяет говорить о микрогелях как об эффективных стабилизаторах эмульсий. В случае, когда доля одной из жидкостей значительно меньше доли другой, микрогели могут выступать в качестве эффективных поглотителей минорной фазы не претерпевая при этом агрегации [1].

В настоящей работе рассматривается поведение одиночных гомополимерных микрогелей в водной системе, где в качестве минорной фазы рассматривается смесь из двух жидкостей (двух масел). В качестве метода исследования было выбрано компьютерное моделирование, а именно диссипативная динамика частиц. Было рассмотрены различные случаи концентраций компонент минорной фазы, а также их совместимости между собой, с основной фазой и с сегментами микрогеля. Результаты исследования показали, что при ухудшении родства двух масел возможно расслоение внутри поглощенной капли и приобретение микрогелей несферической формы. Полученные результаты могут быть полезны при синтезе частиц сложной архитектуры. Например, если в качестве масла рассматривать мономеры, то варьируя их распределение внутри сетки можно получить частицы уникальной формы (многоядерной, формы «ядро-оболочка» или многоядерной), которые, в свою очередь, будут иметь специфические поверхностно-активные свойства.

**Благодарность**

Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 21-73-30013. Моделирование проводилось на суперкомпьютере Ломоносов 2 суперкомпьютерного комплекса Московского Государственного Университета.

**Ссылки**

[1] Elena Yu. Kozhunova, Galina A. Komarova, Mikhail V. Anakhov, Rustam A. Gumerov, and Igor I. Potemkin. Swift Janitor : Efficient Absorption of a Minor Component from the Mixtures of Immiscible Liquids by Thermoresponsive Macroscopic and Microscopic Hydrogels//*ACS Applied Materials & Interfaces* - 2022 - 14 (51), 57244-57250 . DOI: 10.1021/acsami.2c17402

УДК 541.64

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРКЕТОНОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**Жанситов А.А., Шахмурзова К.Т., Курданова Ж.И., Слонов А.Л.,  
Мусов И.В., Хаширова С.Ю.**

*Кабардино-Балкарский государственный университет  
им. Х.М. Бербекова, Нальчик, 360004, Чернышевского 173  
E-mail: azamat-z@mail.ru*

Создание полимерных материалов, способных перерабатываться с применением аддитивных технологий является важнейшим этапом развития химии и технологии высокомолекулярных соединений. Среди таких материалов особое место занимают полиэфиркетоны, которые сочетают высокие механические показатели с теплостойкостью, огнестойкостью, устойчивостью к агрессивным средам. В то же время, расширение областей их применения в современных технологиях, к которым относится 3D-печать, зависит от ряда требований, предъявляемых к эксплуатационным, термическим и технологическим характеристикам. В связи с этим крайне важной задачей является выявление основных факторов, которые определяют получение полиэфиркетонов с макромолекулярной структурой, которая обеспечит сочетание высоких эксплуатационных свойств (термо- и теплостойкости, деформационно-прочностных характеристик) с высокой технологичностью для переработки в изделия методом 3D-печати.

Проведенные в данной работе исследования позволили разработать методику синтеза полиэфиркетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками для применения в различных методах 3D-печати – селективном лазерном спекании и послойном нанесении расплавленной полимерной нити. Изучена взаимосвязь закономерностей синтеза полиэфиркетонов с их реологическими, термическими свойствами, молекулярно-массовым распределением. Исследованы ранее не изученные сополиэфиркетоны основе 1,4-дигидроксibenзола и 4,4'-дигидроксидифенила, обладающие комплексом необходимых свойств для применения в 3D-печати.

Показано, что снижение степени кристалличности полиэфирэфиркетона путем введения в его структуру 4,4'-дигидроксидифенила приводит к значительному повышению качества 3D-печати методом FDM. Испытание напечатанных образцов из синтезированного сополимера показало, что модули упругости при изгибе и растяжении, а также прочность при разрыве имеют высокие значения и близки к свойствам образцов полученных методом литья под давлением.

УДК 541.18

## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОГЕЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ЖИДКОЙ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Жолудев С.И., Гумеров Р.А., Потемкин И.И.**

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Москва, ул. Ленинские Горы, 1, стр. 2, 119234  
Email: zholudev@polly.phys.msu.ru*

Микрогели представляют собой набухшие в растворителе полимерные сетки. Их размеры лежат в пределах от десятков нанометров до нескольких микрометров. Одной из основных особенностей микрогелей является их способность к набуханию и коллапсу в ответ на внешние раздражители: изменение температуры, pH среды, освещённости, термодинамического качества растворителя и т.д. В свою очередь, возможность микрогелей снижать поверхностное натяжение между несмешивающимися жидкостями вызывает интерес к таким системам как к стабилизаторам эмульсий (альтернатива так называемым эмульсиям Пикеринга). Вместе с тем, совсем недавно появились методики синтеза цилиндрических микрогелей, привлекающих внимание благодаря перспективе создания систем с изменяющимся ориентационным порядком частиц за счёт реакции на внешние воздействия [1]. Такие системы, к примеру, могут применяться в качестве матриц для направленного роста биологической ткани и плёнок с изменяющимся цветом и проницаемостью.

В данной работе методом диссипативной динамики частиц было изучено поведение как одиночных микрогелей цилиндрической формы, так и их ансамблей на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. В случае одиночных частиц исследовалось влияние параметров модели: длины субцепи, соотношения сторон, массы - на форму и размерные характеристики микрогеля при различной совместимости с растворителями. Моделирование ансамбля цилиндрических микрогелей проводилось главным образом для определения влияния соотношения сторон микрогелей на их склонность к упорядочению в ответ на сжатие ячейки моделирования. Оказалось, что характер данной зависимости противоположен наблюдаемому ранее в случае раствора [2], где при сохранении объёмной доли микрогелей в системе увеличение соотношения сторон приводило к росту параметра ориентационного порядка.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-73-30013. Моделирование проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова

### **Ссылки**

- [1] Krüger A. J. D., Köhler J., Cichosz S., Rose J.C., Gehlen D.B., Haraszti T., Möller M., DeLaporte L. A Catalyst-Free, Temperature Controlled Gelation System for in-Mold Fabrication of Microgels // Chem. Commun. 2018. Vol. 54, P. 6943–6946.  
[2] Zholudev S.I., Gumerov R.A., Larina A.A., Potemkin I.I. Swelling, Collapse and Ordering of Rod-like Microgels in Solution: Computer Simulation Studies // J. Colloid Interface Sci. 2023. Vol. 629, P. 270–278.

УДК

**ЛОКАЛЬНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЕ HARZ LABS INDUSTRIAL NYLON-LIKE****Жуков В.А.<sup>1</sup>, Ломовской В.А.<sup>1</sup>, Чапала П.П.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ИФХЭ РАН, Москва, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4<sup>2</sup> ООО «ХАРЦ Лабс», Мытищи, 141001, ул. Силикатная, д.51А, стр.5

E-mail: v89160177896@yandex.ru

Рассматриваются локальные диссипативные явления в Harz Labs Industrial Nylon-like, проявляемые в виде пиков диссипативных потерь на спектре внутреннего трения, получаемого в режиме свободного затухающего колебательного процесса, возбуждаемого в образце исследуемого полимера в интервале температур от минус 150 °С до + 250 °С. Исследуемая система в исходном состоянии представляет собой жидкость, которая в результате изготовления на 3д принтере под действием импульсных УФ доз облучения геометрически сложных фасонных профилей изделия переходит в твердое агрегатное состояние.

Получены экспериментальные спектры внутреннего трения и температурные зависимости частоты свободнотухающего колебательного процесса в образцах как твердого, так и жидкого агрегатного состояния.

Исследование локальные диссипативных процессов исходной жидкой системы Harz Labs Industrial Nylon-like проведено с использованием целлюлозной подложки, слабо влияющей на физико-химические и физико-механические характеристики и выступающей в качестве матрицы композитной системы, в которой исследуемая жидкая система является объемным наполнителем.

Физико-химические и физико-механические характеристики отвержденной системы Harz Labs Industrial Nylon-like исследованы без использования подложки.

Полученные результаты показали существенные и значительные различия, как в спектрах  $\lambda=f(T)$ , так и в температурных зависимостях частоты  $\nu=f(T)$ .

По ходу формирования и отверждения данной полимерной системы спектры  $\lambda=f(T)$  усложнялись, что характеризуется возникновением новых структурно-кинетических подсистем, образующих в совокупности всю исследуемую систему.

Определение механизмов внутреннего трения каждого локального диссипативного процесса, который возникает на спектре  $\lambda=f(T)$  в результате подвижности элементов той или иной структурно-кинетической подсистемы, позволило установить, что одни диссипативные процессы связаны с аморфной фазой системы и имеют релаксационный механизм, а другие диссипативные процессы связаны с образовавшимися упорядоченными областями (кристаллическими) системы и имеют фазовый механизм внутреннего трения.

Математическая обработка полученных сложных пиков потерь с использованием разложения на Гауссовские составляющие позволило определить конечное число возникающих в результате УФ синтеза новых структурно-кинетических подсистем.

УДК 691.175

**ВЛИЯНИЕ НУКЛЕИРУЮЩИХ АГЕНТОВ НА ПРОЦЕСС  
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА****Зимин К.С., Ларионов И.С., Муллин И.Р., Балькаев Д.А.,  
Гафиатуллин Б.Х., Антипин И.С.***Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, ул. Кремлевская 18  
E-mail: kostzim@list.ru*

Полифениленсульфид (PPS) - это термопластичный полукристаллический полимер, используемый в качестве матрицы для композитов, применяемых в аэрокосмической отрасли, и помимо этого, известен как инженерный суперконструкционный полимер с хорошей термической стабильностью, высокими механическими характеристиками, отличной химической стойкостью и не подвержен действию влаги [1].

Его физические свойства сильно зависят от его кристаллической структуры и скорости кристаллизации, как и любого полукристаллического полимера. Для регулирования процесса кристаллизации часто используются нуклеирующие агенты.

В работе изучено влияние органических и неорганических нуклеирующих агентов на процесс неизотермической кристаллизации линейного полифениленсульфида. Для введения нуклеаторов использовался двухшнековый экструдер. Для оценки влияния на кристаллизацию полифениленсульфида применялся метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Добавление нуклеатора снижает температуру холодной кристаллизации (перекристаллизации), а также значительно снижает тепловой эффект. Введение нуклеаторов привело к значительному увеличению прочностных характеристик, за счет увеличения степени кристалличности полифениленсульфида.

**Ссылки**

[1] Ren, Y. Control of the crystalline morphology of polyphenylene sulfide in secondary thermoforming by the strong memory effect of crystallization / Y. Ren, Y. Lu, B. Zhang, J. Su, W. Liu, J. Zhou, M. Yu, S. Zhu / Polymer. 2023. Vol. 281. P. 126067

УДК 541.64:547.673.5+621.384.5

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЁНОК ПОЛИФЕНИЛЕНОКСИДА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

**Зиновьев А.В.<sup>1</sup>, Пискарев М.С.<sup>1</sup>, Гильман А.Б.<sup>1</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>, Скрылева Е. А.<sup>2</sup>,  
Сенатулин Б. Р.<sup>2</sup>, Гатин А. К.<sup>3</sup>, Сырцова Д. А.<sup>4</sup>, Алентьев А. Ю.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, г. Москва, Ленинский проспект, 4*

<sup>3</sup>*Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва, ул. Косыгина, 4*

<sup>4</sup>*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
E-mail: zinovyev@ispm.ru*

В настоящее время для модифицирования поверхности полимерных плёнок активно используется обработка в низкотемпературной плазме (НТП) [1]. В результате воздействия НТП на поверхность плёнки появляются новые функциональные группы, изменяется морфология, что позволяет найти изделию новые применения или улучшить некоторые свойства, в частности, свойства полимерных мембран. Ранее нами проводились успешные работы по модифицированию в разряде постоянного тока плёнок ПВТМС: при обработке на аноде значительно увеличился коэффициент идеальной селективности с 3,8 до 10 по паре  $O_2/N_2$ , что является отличным показателем по данной паре [2]. В связи с этим было решено попробовать применение данного метода для другого полимера, используемого в данной области – поли(окси-2,6-диметил-1,4-фениленоксида) (ПФО). Плёнки ПФО толщиной ~30 мкм. модифицировали посредством плазмы постоянного тока в атмосфере фильтрованного воздуха при пониженном давлении ( $p=15$  Па,  $t=10-70$ с,  $I=50$  мА). Исследованы поверхностные свойства исходной и модифицированных плёнок методом измерения краевого угла смачивания по воде и глицерину, получены значения поверхностной энергии, её полярного и дисперсионного компонентов. Изменения химической структуры поверхности изучены методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, морфологии – методом атомно-силовой микроскопии.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, номер темы: FFSM-2021-0006.

### Ссылки

[1] Modification of Polymer Properties / Eds. Jasso-Gastinel, C.F., Kenny, J.M. William Andrew P. 2017.

[2] Zinoviev A. V., Piskarev M. S., Skryleva E. A., Senatulin B. R., Gatin A. K., Gilman A. B., Syrtsova D. A., Teplyakov V.V., Kuznetsov A. A. Modification of Polyvinyltrimethylsilane in Direct-Current Discharge // High Energy Chemistry. 2021. V.55. №5. P. 407-413.



УДК 541.64+539.26+548.75

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИ-*n*-КСИЛИЛЕН – СУЛЬФИД КАДМИЯ

**Иванова О.П.<sup>1</sup>, Кривандин А.В.<sup>1</sup>, Пирязев А.А.<sup>2</sup>, Завьялов С.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ИБХФ им.Н.М.Эмануэля РАН, 119334 Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 142432 Московская обл., Черноголовка, пр. акад.Семенова, 1

<sup>3</sup> НИЦ «Курчатовский институт», 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, 1

E-mail: olga@deom.chph.ras.ru

Композиционные материалы с полупроводниковыми включениями иммобилизованными в различных полимерных матрицах, вызывают большой интерес при разработке и создании материалов с заданными свойствами. Добавление полупроводниковых наночастиц в матрицу оказывает влияние на кинетику полимеризации и приводит к изменениям структуры полимерной матрицы и наночастиц, и как следствие к изменениям свойств нанокomпозитов. Предметом настоящих исследований послужили пленки ППК-CdS толщиной  $\sim 0.2$  мкм с содержанием наполнителя CdS ( $C \sim 0-100$  об. %). Пленки были синтезированы в вакууме методом газофазной полимеризации на поверхности (ГПП-метод). В зависимости от содержания наполнителя проведены исследования спектральных (оптические и ИК-спектры поглощения), фотоэлектрических (темновая и фотопроводимость) и структурных свойств нанокomпозитов ППК-CdS.

Показано, что в пленках ППК-CdS с ростом содержания наполнителя наблюдаются немонотонные сдвиги спектров оптического поглощения в длинноволновую область с максимумом при  $C_0 \sim 11$  об.% CdS, увеличение проводимости (темновой и фото) примерно на два порядка по сравнению с пленкой чистого CdS в узком диапазоне концентраций  $C \sim 10.5 - 11$  об.% CdS с максимальными значениями при  $C_0 \sim 11$  об.%. При содержании наполнителя  $C < 10.5$  об.% CdS методом ИК-спектроскопии в пленках обнаружено появление дополнительных полос, обусловленных появлением сульфо- ( $\text{SO}_4$ ) и карбоксилатных ( $\text{COO}^-$ ) групп, которые отсутствуют в ИК-спектрах при  $C \geq 10.5$  об.%. Методами рентгеновской дифракции выявлены изменения структуры наполнителя CdS – от неориентированной рентгеноаморфной при  $C < 10.5$  об.%, до ориентированной кристаллической структуры вюрцита при  $C_0 \geq 10.5$  об.%, а также ППК - от неориентированной рентгеноаморфной до полного исчезновения на дифрактограммах пика ППК. Полученные результаты свидетельствуют о корреляции структурных изменений со спектральными и фотоэлектрическими свойствами нанокomпозитов ППК-CdS толщиной  $\sim 0.2$  мкм.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБХФ РАН (№ 01201253304)

УДК 541.64+539.26+548.75

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИ-*n*-КСИЛИЛЕН – СУЛЬФИД КАДМИЯ

**Иванова О.П.<sup>1</sup>, Кривандин А.В.<sup>1</sup>, Пирязев А.А.<sup>2</sup>, Завьялов С.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ИБХФ им.Н.М.Эмануэля РАН, 119334 Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 142432 Московская обл., Черноголовка, пр. акад.Семенова, 1

<sup>3</sup> НИЦ «Курчатовский институт», 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, 1

E-mail: olga@deom.chph.ras.ru

Интерес к пленочным наноккомпозитам на основе полимерной матрицы из поли-*n*-ксилилена (ППК) с неорганическими включениями полупроводниковых наночастиц сульфида кадмия (CdS) определяется возможностями их практического применения в оптоэлектронике, катализе и медицине. Свойства наноккомпозитов ППК-CdS во многом определяются их структурой. Исследуемые пленки ППК-CdS толщиной 0.2, 0.5, 1 и 1.5 мкм и содержанием наполнителя от 5 до 90 об.% CdS получены в вакууме методом газофазной полимеризации на поверхности (ГПП-метод). При последующем контакте с воздухом может происходить их частичное окисление, что влияет на образование конечной структуры наноккомпозитов и их свойства.

Целью настоящей работы было изучение структуры (рентгеновская дифракция) и химического состава (ИК-спектроскопия) пленок ППК-CdS, отличающихся толщиной и содержанием наполнителя, а также выявление возможных факторов, влияющих на формирование структуры сульфида кадмия в пленках.

Структурные исследования показали изменения размеров частиц CdS в пленках с ростом содержания наполнителя, приводящие к формированию различных структур CdS – ориентированных кристаллических структур вюрцита в пленках толщиной ~ 0.2 мкм и СПУ-структуры в пленках толщиной ~ 1.5 мкм, а также неориентированных рентгеноаморфных частиц в пленках толщиной ~ 0.5 и ~1 мкм. Частицы матрицы ППК в практически во всех пленках оставались рентгеноаморфными. Исследования химического состава пленок выявили полосы валентных колебаний гидроксильных (ОН)<sup>-</sup> групп в пленках толщиной ~ 0.5 и 1 мкм. а в пленках толщиной ~ 0.2 и 1.5 мкм они не были обнаружены.

Полученные результаты показали корреляцию между химическим составом пленок и их структурой: так кристаллические структуры CdS (вюрцит и СПУ-структура) наблюдались в пленках, в составе которых отсутствовали гидроксильные группы и на дифрактограммах не обнаружен дифракционный пик ППК, а рентгеноаморфные частицы CdS были выявлены в пленках, в составе которых присутствовали гидроксильные группы и на дифрактограммах которых наблюдался дифракционный пик ППК.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБХФ РАН (№ 01201253304)

УДК 538.951, 544.032

## СТРУКТУРНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

**Иванькова Е.М.<sup>1</sup>, Касаткин И.А.<sup>2</sup>, Ваганов Г.В.<sup>1</sup>, Попова Е.Н.<sup>1</sup>,  
Елоховский В.Ю.<sup>1</sup>, Юдин В.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., 31*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Санкт-Петербург, Университетская наб. 7-9*

*ivelen@mail.ru*

Нанокompозитные волокна на основе ПЭВП были получены методом экструзии из расплава с последующей высокотемпературной ориентационной вытяжкой до степени вытяжки  $\lambda=8$ . В качестве наполнителей использованы два вида углеродных нанодисков – исходные и подвергнутые дополнительному отжигу при температуре 2500°C. Полученные нанокompозитные волокна на основе ПЭВП были исследованы с помощью различных экспериментальных методов: вискозиметрия, сканирующая электронная микроскопия, большеугловое рентгеновское рассеяние (БУР), дифференциальная сканирующая калориметрия. Было продемонстрировано, что отожженные углеродные нанодиски обладают способностью к зародышеобразованию, что в конечном итоге приводит к сильной трансформации морфологии материала.

Выявлено, что оба типа наночастиц хорошо диспергируются в матрице ПЭВП и ориентированы вдоль направления экструзии волокон. Кроме того, используемые углеродные нанодиски демонстрируют слишком слабую адгезию к полимерной матрице. Обнаружено, что отожженные наночастицы обладают мелкокристаллической структурой и могут выступать в качестве зародышеобразователей, которые приводят к росту транскристаллитов ПЭВП нормально к поверхности нанодисков.

Методом БУР показано, что в волокне из чистого ПЭВП и в композитном волокне, легированном аморфными исходными нанодисками, выявляются два типа текстуры (**A** или **AB**), а в волокне на основе ПЭВП с высоким содержанием отожженных нанодисков доминирующей становится **C**-текстура. Этот факт позволяет заключить, круглые наночастицы способны трансформировать преимущественную ориентацию морфологических единиц в экструдированных из расплава композитных волокнах. Предполагается, что это связано с изменением реологических свойств композиционного расплава (т.е. увеличением его вязкости) и, как следствие, с изменением условий кристаллизации полимера.

Установлено также, что используемые наночастицы не препятствуют протеканию процессов ориентации макромолекул вдоль оси волокна при высокотемпературной вытяжке. Изменение термических и механических свойств композитных волокон на основе ПЭВП с введенными углеродными нанодисками также обсуждается.

УДК 544.653.1

## ФОТОАКТИВНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ И ФТАЛОЦИАНИНАТА ЦИНКА, НАНЕСЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

**Кабанова В.А., Грибкова О.Л., Некрасов А.А., Тамеев А.Р.**

*ИФХЭ РАН, 199071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4;  
E-mail: KabanovaVar@gmail.com*

Разработаны гибридные материалы, сочетающие в себе высокую дырочную проводимость электроосажденных проводящих полимеров (полипиррола (ППи) и поли-3,4-этилендиокситиофена (ПЭДОТ)) с фотоэлектрическими свойствами фталоцианината цинка.

Методом электрохимической полимеризации были получены гибридные слои ППи и ПЭДОТ в присутствии водорастворимой натриевой соли окта(3',5'-дикарбоксифеноксифталоцианината цинка (ZnPc), содержащей 16 ионогенных карбоксилатных групп. Процесс электрополимеризации исследован *in situ* электрохимическими и спектроскопическими методами. Показано, что, электросинтез слоев ПЭДОТ-ZnPc и PPy-ZnPc наиболее эффективно проходит на подслое в гальваностатическом и потенциостатическом режимах.

Электронная и химическая структура гибридных слоев была исследована методами электронной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния и показано, что ZnPc входит в матрицу ППи в относительно большем количестве, чем в случае матрицы ПЭДОТ.

Установлено, что более высокой фоточувствительностью и внешним квантовым выходом обладают структуры на основе слоя ППи-ZnPc. Исследования фотоэлектрических характеристик и результаты измерения подвижности носителей заряда показали перспективность разработанных гибридных слоев ППи-ZnPc и ПЭДОТ-ZnPc для создания фотодиодных устройств.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №23-19-00884) и Минобрнауки России (тема ИФХЭ РАН №122011300052-1).

УДК 541.64:542.943.5

## ВЛИЯНИЕ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА НА ОЗОНОСТОЙКОСТЬ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

Неверовская А.Ю., Возняковский А.П., Калинин А.В.

*Научно-исследовательский институт синтетического каучука  
им. академика С.В.Лебедева, Санкт-Петербург, Гапсальская, 1  
E-mail: ak74frog@mail.ru*

Диеновые эластомеры, в частности бутадиен-нитрильный каучук, широко используются для производства резинотехнических материалов. Однако, комплекс эксплуатационных параметров диеновых эластомеров может заметно снижаться вследствие процессов старения [1]. Методы стабилизации полимеров принято делить на физические, связанные со снижением скорости диффузии в объем полимера и химические, связанные с введением в объем полимера химически активных (связывающих) по отношению к агрессивным частицам добавок. В последнее время для межлабораторных исследований стали доступны аллотропные формы нанок углерода - нанотрубки, 2D графеновые структуры, - которые, вследствие особенностей своей структуры, при введении в объем полимера могут одновременно выполнять функцию как физических, так и химических стабилизаторов. Из всего набора факторов старения полимера наиболее существенным деструктурирующим фактором воздействия на резинотехнические изделия в процессе эксплуатации является процесс озонового старения. Это связано с тем, что озон легко и избирательно вступает в реакции с двойными связями в каучуках даже при отрицательных температурах.

Целью данной работы было исследовать влияние нанок углерода на стойкость резин на основе бутадиен-нитрильного каучука к озоновому старению.

Резины на основе СКН-18СНТ, модифицированные различными нанок углеродами (малослойный графен, многостенные нанотрубки, гибридный нанок углерод), были подвергнуты воздействию озона в течение 60 часов при температуре + 40°C без нагрузки при концентрации озона 0,005%. Затем проводились физико-механические испытания и отмечалась разница в прочности исходных и выдержанных в озоне образцов. Показано, что все нанок углероды улучшают стойкость к озону. Примечательно, что наименьшее изменение прочности после воздействия озона демонстрируют резины, модифицированные малослойным графеном. Причем это изменение почти в 10 раз меньше (4,75%), чем изменение в образце, полученном по стандартной рецептуре для резин из бутадиен-нитрильного каучука (39,86%). Видимо, малослойный графен выступает в роли ловушки для озона. Большая часть озона расходуется на взаимодействие с малослойным графеном, поэтому каучук деструктурирует значительно меньше, чем при отсутствии графена.

### Ссылки

[1] Shelton, J. R. Aging and oxidation of elastomers / J. R. Shelton // Rubber Chem. Technol. – 1957. Vol. 30, № 5. – P. 1251-1290.

УДК 541.64:547.994:544.77.051.5

## БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА КАК СТАБИЛИЗАТОРЫ НАНОЧАСТИЦ ПЛАТИНЫ

**Калинина О.Ю., Зуев Д.В., Саломатина Е.В., Черкасова Е.И.,  
Зайцев С.Д., Смирнова Л.А.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 5  
E-mail: kalinina.o1@yandex.ru*

Среди наночастиц (НЧ) металлов, используемых для биомедицинских применений, особое внимание исследователей привлекают НЧ платины благодаря их оптическим, антимикробным, антиоксидантным и противоопухолевым свойствам. Ключевой фактор, определяющий активность НЧ – их размер, который не должен превышать 5 нм. Особое значение с точки зрения создания устойчивых нанокompозитов биомедицинского назначения имеет выбор хитозана (ХТЗ) как стабилизатора НЧ в силу его хелатообразующих свойств, биосовместимости, биологической активности, биоразлагаемости, способности раздвигать межклеточные контакты и попадать в русло крови. Однако ХТЗ нерастворим в водных средах, что определяет необходимость его модификации водорастворимыми биосовместимыми полимерами, среди которых наиболее подходящим является поливинилпирролидон (ПВП). Цель работы заключалась в синтезе блок-сополимеров (БСП) ХТЗ-ПВП с различным соотношением блоков и их изучении в качестве полимеров-стабилизаторов при формировании НЧ Pt в водных средах. В работе использовали ХТЗ с молекулярной массой 140 кДа и степенью деацетилирования 80 - 82 %; ПВП получен радикальной полимеризацией. БСП синтезировали при ультразвуковой обработке растворов смеси гомополимеров в течение 15 мин при массовых соотношениях ХТЗ:ПВП = 1:2, 1:3, 1:4. После очистки продукта пересаживанием были приготовлены водные растворы БСП с рН 7 - 7.2. БСП были охарактеризованы методами РФА, ИК-спектроскопии и СЭМ. Молекулярная масса блоков определена после ферментативного разложения блоков ХТЗ методом ГПХ. Методом ДСК показано наличие двух температур расстеклования, относящихся к блокам ХТЗ и ПВП (140 и 166°C, соответственно), что является подтверждением образования БСП. Формирование НЧ Pt выполнено при восстановлении  $H_2PtCl_6$  в растворах гомо- и блок-сополимеров. Процесс контролировали спектрофотометрически по появлению и нарастанию полосы плазмонного поглощения НЧ Pt в области 210 - 250 нм. Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что НЧ имеют размер ~ 2 нм и равномерно распределены в полимерной матрице. Проводится проверка композиции на противоопухолевую активность.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (соглашение № 23-74-10069).



УДК 544.723.23

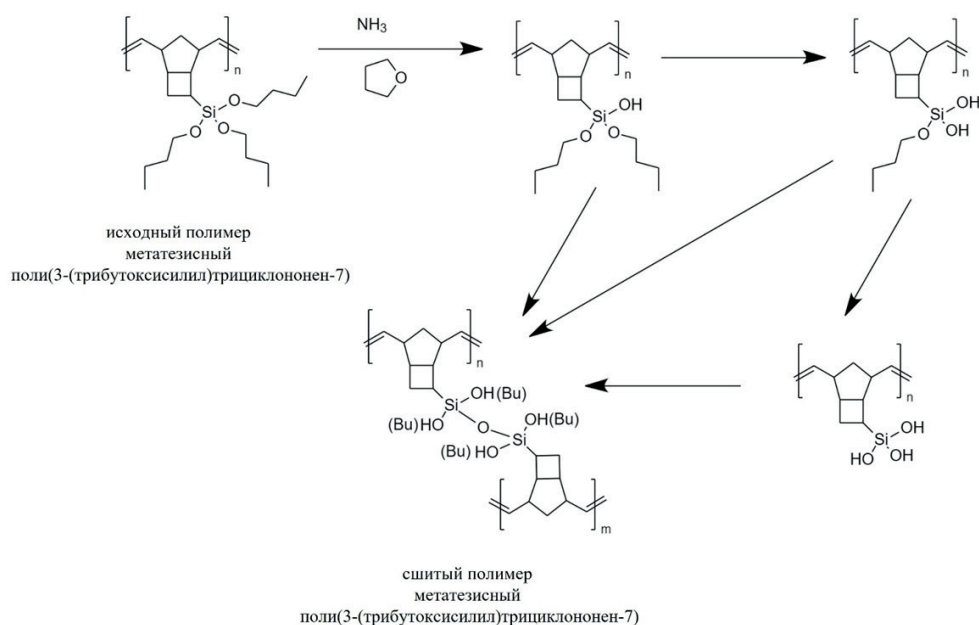
## НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ В АНАЛИЗЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

**Канатьева А.Ю., Курганов А.А., Королев А.А.**

ИНХС РАН, г. Москва, Ленинский пр., 29

E-mail: kanatieva@ips.ac.ru

Получены шитых неподвижные фазы (НФ) для газовой хроматографии на основе полимера-предшественника, обладающего разделительной способностью. В роли такого полимера рассмотрен ранее изученный поли(3-(трибутоксисилил)трициклононен-7) (ПТБСТ), который характеризуется довольно низкой температурой стеклования, равной  $-32^{\circ}\text{C}$ , поэтому хроматографическое поведение НФ на основе этого полимера было аналогично жидким НФ. На основе ПТБСТ получена шитая НФ путем создания микропористой структуры *in situ*. Для проведения шивки колонку заполняли 10% раствором  $\text{NH}_3$  в тетрагидрофуране и оставляли на 12 часов, а затем продували гелием при комнатной температуре в течение 12 часов. Появление шитого полимерного слоя является результатом последовательного гидролиза бутоксильных групп полимерной цепи и сшивания цепей за счет межцепочечной дегидратации силанольных групп (Рис. 1). Оценка степени протекания процесса может быть выполнена на основе свойств полученной НФ. Наибольшие изменения удерживания наблюдаются для веществ, характеризующих вклад в удерживание ориентационных и донорно-акцепторных взаимодействий и образования водородных связей с электронодонорными группами НФ (модельные соединения – нитрометан и пиридин). Это должно отражаться на селективности НФ. Полученная НФ была опробована для разделения серосодержащих соединений. Показана возможность успешного разделения сернистых соединений различных классов с использованием новой НФ, в том числе и в составе нефтепродуктов.



**Рисунок 1.** Условная схема приготовления шитой полимерной НФ на основе ПТБСТ.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках проекта РНФ 21-73-20032

УДК 564.163.2;539.199

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ФУЛЛЕРЕНОЛА

**Капралова В.М., Никитина Е.А., Сударь Н.Т.**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, 195251  
E-mail: kapralova2006@yandex.ru*

Изучались свойства пленок полимерного нанокompозита на основе поливинилового спирта (ПВС) и водорастворимого полигидроксилированного фуллерена (фуллеренола)  $C_{60}(OH)_{44}$  в качестве наполнителя (композит ПВС +  $C_{60}(OH)_{44}$ ). Добавка 2 масс.% фуллеренола в ПВС приводила к окрашиванию пленок в желто-коричневый цвет и значительному поглощению ими света в УФ области спектра, тогда как в ИК спектрах значительных изменений не наблюдалось.

Измерение частотных зависимостей емкости и тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  пленок осуществлялось в диапазоне частот  $f$  от 25 Гц до 1 МГц при температурах от 294 до 398 К. На основании этих данных рассчитывались частотные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и фактора потерь  $\epsilon''$  ( $\epsilon'' = \epsilon' \cdot tg\delta$ ). Формы кривых  $\epsilon'(f)$  и  $\epsilon''(f)$  для обоих типов пленок оказались подобными. Зависимости  $\epsilon'(f)$  характеризуются монотонным снижением  $\epsilon'$  с ростом частоты при всех измеренных температурах. При этом во всем частотном диапазоне величина  $\epsilon'$  у ПВС была всегда несколько больше, чем у композита ПВС +  $C_{60}(OH)_{44}$ , при температурах ниже температуры стеклования ПВС. В области температуры стеклования ПВС (340–375 К), на частотах менее 5 кГц у обоих типов пленок наблюдался резкий рост диэлектрической проницаемости с  $\sim 10$  до 300-400 при  $f = 25$  Гц. На зависимостях  $\epsilon''(f)$  при повышенных температурах регистрировались пики, местоположение максимумов которых  $f_{max}$  смещалось в сторону высоких частот при нагреве образцов. Этот результат согласуется с известными литературными данными о характере  $\epsilon'(f)$  и  $\epsilon''(f)$  для ПВС [1]. В исследованной области температур зависимость  $lg f_{max}(1/T)$  близка к линейной как для ПВС, так и для композита ПВС +  $C_{60}(OH)_{44}$ , т. е. можно полагать, что положение максимума описывается уравнением Аррениуса с энергией активации  $E_a$ . Значения  $E_a$  для ПВС и нанокompозита ПВС +  $C_{60}(OH)_{44}$  практически одинаковы и равны  $\sim 1,5$  эВ, однако частоты  $f_{max}$  у ПВС оказываются несколько меньше.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания на проведение фундаментальных исследований (код темы FSEG-2023-0016).

### Ссылки

[1] Просанов И. Ю., Уваров Н. Ф. Электрические свойства дегидратированного поливинилового спирта // Физика твердого тела. – 2012. – Т. 54. – №. 2. – С. 393-396.

УДК 678.675: 66.067.38

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИ- И СОПОЛИАМИДА

**Каталевский А.Д., Смирнова Н.Н.**

*Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых, г. Владимир, 600000 ул. Горького, д. 87  
E-mail: ak@vladisart.ru*

Благодаря сочетанию механических, термических и химических свойств, присущих полиамамидам, и высоким разделительным и транспортным характеристикам синтезированных на их основе мембран, полимеры этого класса являются активно используемыми в мембранной технологии в настоящем и перспективными материалами для будущих разработок [1, 2].

В данной работе получены ультрафильтрационные мембраны на основе поли-м-фениленизофталамида и статистического сополиамида, содержащего 1, 3, 5 и 10 мол.% звеньев с сульфонатными группами. Методами РЭМ и АСМ исследована структура и морфология поверхности, а также изучены адсорбционные (в статических условиях и в условиях ультрафильтрации растворов белков) и массообменные свойства мембран. Для проведения адсорбционных и разделительных экспериментов использованы растворы бацитрацина ( $pI=7.1 - 7.2$ ,  $M=1.45$  кДа), лизоцима ( $pI=11.0$ ,  $M=14.3$  кДа), миоглобина ( $pI=7.0$ ,  $M=16.8$  кДа) и бычьего сывороточного альбумина ( $pI=4.9$ ,  $M=67.0$  кДа). Показано, что при наличии заряда у белковых макромолекул и поверхности мембраны роль электростатических сил является определяющей в механизме адсорбции белка, однако вклад неэлектростатических взаимодействий мембрана/белок для материалов на основе ароматических полиамидов значителен. Установлено, что в изученных системах адсорбционная емкость мембран может варьироваться от 0.02 до 0.29 мг·см<sup>-2</sup>. Получены кинетические зависимости удельной производительности и селективности мембран. Показано, что инструменты регулирования интенсивности электростатического взаимодействия (концентрация и природа ионных групп в сополимере и pH раствора белка) являются инструментами управления транспортными характеристиками мембран. Оптимальное сочетание массообменных свойств полученных мембран может быть достигнуто при pH выше изоэлектрической точки белка.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2024-0004, госзадание ВлГУ).

### **Ссылки**

- [1] El-Gendi, A. A critical review of the preparation, characterization and applications of polyamide membranes // Desalination Water Treat. – 2022. Vol. 255. – P. 120-135.
- [2] Peng, L.E. A critical review on porous substrates of TFC polyamide membranes: Mechanisms, membrane performances, and future perspectives / L.E. Peng, Z. Yang, L. Long, S. Zhou, H. Guo, C.Y. Tang // J. Membr. Sci. – 2022. Vol. 641, № 119871.

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

**Качалова Е.А.<sup>1</sup>, Ковылин Р.С.<sup>1,2</sup>, Зайцев С.Д.<sup>1</sup>, Смирнова Л.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Нижегородский государственный Университет и м. Н.И. Лобачевского, Российская Федерация, 603022, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23*

<sup>2</sup> *Институт металлоорганической химии имени Г. А. Разуваева РАН, Российская Федерация, 603137, Нижний Новгород, ул. Тropicина, 49  
E-mail: katerina\_k1997@mail.ru*

Экологической проблемой, обусловленной развитием современной промышленности и деятельностью человека, является загрязнение окружающей среды ионами тяжелых металлов и неметаллов. Из-за растущей нехватки воды, очистка сточных вод и водоподготовка являются одной из основных проблем в ближайшем будущем. Большинство предприятий на данный момент вводят или уже ввели неоднократное использование оборотной воды, что позволяет уменьшить объемы ее потребления и снизить количество вредных веществ в промышленных стоках. Несмотря на постоянное совершенствование старых и разработку новых технологий по очистке сточных вод, гальваническое производство относится к числу наиболее неэкологичных. Ионы тяжелых металлов способны оказывать негативное воздействие не только на окружающую среду, но и на здоровье человека.

В связи с этим актуальной является задача создания материала способного эффективно сорбировать на своей поверхности ионы тяжелых металлов и неметаллов. Перспективным является создание композиции на основе модифицированного крахмала (КР) с хитозаном (ХТЗ), поскольку они являются биodeградируемыми, а их ресурсы возобновляемыми.

Разработан метод получения гомогенных растворов, модифицированного КР и ХТЗ. На основе предложенных растворов синтезированы высокопористые материалы трехмерной структуры. Методом ртутной порометрии определены средний размер пор и пористость (>82%) материала.

Установлено, что образцы (ХТЗ:КР:АА) характеризуются высокой сорбционной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов и показали высокую степень извлечения ионов Fe<sup>3+</sup> (82%), Cd<sup>2+</sup> (90%), Cr<sup>3+</sup> (90%), Zn<sup>2+</sup> (90%). Наиболее высокую эффективность сорбции ионов Ca<sup>2+</sup> показала пористая трехмерная композиция КР:АА – 94%. Композиционный материал ХТЗ:КР:АА показал 99% степень извлечения ионов неметаллов Cl<sup>-</sup> и Br<sup>-</sup>.

С использованием метода энергодисперсионного микроанализа (ЭДС), исследована равномерность распределения ионов тяжелых металлов по поверхности композиционного материала.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-13-00342.

УДК 541.18

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДА НА ФОРМУ И РАЗМЕР МИЦЕЛЛ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ СМЕСИ ПРОТИВОПОЛОЖНО ЗАРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Кузнецов И.А., Квятковский А.Л., Филиппова О.Е.

*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: kvyatkovskij@physics.msu.ru*

В последние десятилетия активно исследуется самоорганизация амфифильных молекул поверхностно-активных веществ (ПАВ). При определенных условиях молекулы ПАВ способны образовывать крупные агрегаты сферической формы, называемые везикулами [1]. В одной из недавних работ методом компьютерного моделирования была продемонстрирована коалесценция везикул при добавлении углеводорода [2]. До настоящего времени экспериментально этот эффект не был изучен.

Целью данного исследования было экспериментальное изучение влияния углеводорода декана на везикулы, образованные молекулами катионного ПАВ цетилтриметиламмония бромид (ЦТАБ) и анионного ПАВ додецилбензолсульфоната натрия (ДБСН). Для изучения формы и размеров агрегатов в системе при различной концентрации ПАВ и углеводорода применяли несколько комплиментарных методов: малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов, динамическое рассеяние видимого света, а также просвечивающую электронную микроскопию.

Было показано, что в растворах с различными концентрациями ПАВ в отсутствие углеводорода наблюдаются везикулы, а также агрегаты из них. При добавлении углеводорода наблюдалась коалесценция везикул, приводящая к образованию бластул микрометрового размера. С ростом концентрации углеводорода в растворах происходило фазовое разделение, являвшееся результатом перехода бластул ПАВ в перфорированную ламель.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 21-73-30013)

### Ссылки

[1] Grillo I., Kats E.I., Muratov A.R. Formation and growth of anionic vesicles followed by small-angle neutron scattering // *Langmuir*. – 2003. Vol. 19. – P. 4573-4581.

[2] Kovalev D.M., Kravchenko V.S., Potemkin I.I. Nanof foam-like structure of surfactants in oil-water mixtures // *J. Mol. Liq.* – 2022. Vol. 360. – P. 119568-119578.

УДК 681.6, 681.9, 004.356

## ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ЧЕРНИЛ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ

**Кильдеева Н.Р., Захарова В.А., Ахмедов М. М., Растригина В.О.**

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, г. Москва, Малая Калужская ул., 1  
E-mail: vasilinaqss@gmail.com*

3D-печать представляет совокупность процессов, позволяющих быстро прототипировать трехмерные объекты путем аддитивного наложения материалов согласно цифровой 3D-модели. Данная отрасль имеет большой потенциал в направлении изготовления персонализированных изделий широкого спектра применений, включая косметологию, тканевую инженерию. С развитием 3D-печати, появилась возможность использования биополимерных гидрогелей на основе белков и полисахаридов в качестве «чернил». Несмотря на то, что концентрированные растворы альгината обладают рядом привлекательных свойств для печати, однако их низкая механическая стабильность является одной из основных проблем получения устойчивых трехмерных структур.

Целью работы является расширение ассортимента используемых материалов для технологии 3D-печати, за счет изготовления формоустойчивых гидрогелевых чернил на основе связанного феруловой и галловой кислотами альгината натрия.

В качестве объектов исследования использовали высоковязкие растворы натриевой соли альгиновой кислоты, различной концентрации. Изучены концентрационные зависимости физико-химических свойств растворов (светорассеяния, вязкости, pH). Проведено потенциометрическое титрование альгината натрия, с целью установления числа карбоксилатных групп при рабочих концентрациях и pH. Получены зависимости константы кислотности от степени протонирования альгиновой кислоты. На основе полученных данных, установлены оптимальные рабочие концентрации, обеспечивающие получение гидрогелевых чернил с необходимыми функциональными параметрами. Определено значение pH и установлены оптимальные мольные соотношения при конъюгировании альгината натрия с феруловой и галловой кислотами. Влияние кислот на структуру полимерной цепи альгината оценивали методом ИК-спектроскопии. Подобраны параметры и режимы для обеспечения процесса экструзионной печати гидрогелевых структур.

Таким образом, разработанные технологические подходы к адаптации гидрогелей на основе системы биополимер-фенольная кислота открывают новые возможности для проектирования и производства биоактивных персонализированных 3D-структур, обладающих топографической и биомеханической совместимостью с биологической тканью для медицинских и косметологических целей.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 24-23-00390.



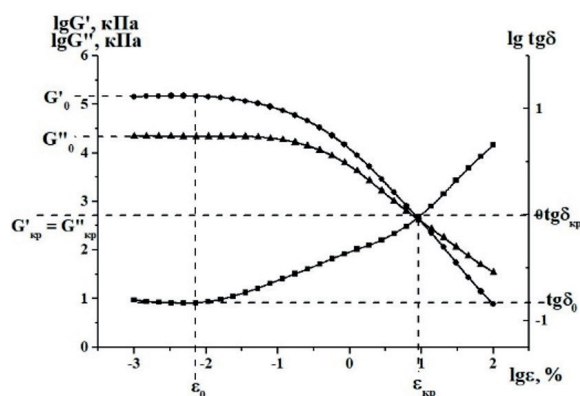
## ОБЩИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ НАТИВНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРАМИ ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

**Киушов А.А., Панова И.Г., Аржаков М.С., Ярославов А.А.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, г. Москва, Ленинские горы д. 1 стр. 3  
E-mail: akiushov1@yandex.ru*

Изучение реологии почв и почвообразующих минералов (кварцевого песка и глин) в увлажненном состоянии востребовано во многих областях промышленности и сельского хозяйства. При этом актуальной задачей является поиск методов контроля реологического отклика природных дисперсных систем в ответ на механическую нагрузку. Перспективным подходом является модификация минерально-органических частиц полиэлектролитами (ПЭ), а также (интер)полиэлектролитными комплексами (ИПЭК) на их основе.

В работе методом амплитудной развертки в осциллярном режиме деформации, проведены реологические испытания 32 увлажненных до капиллярного насыщения почвенных, минеральных, полимер-почвенных и полимер-минеральных композиций. В качестве природных субстратов использованы кварцевый песок, каолинит, монмориллонит, чернозем и дерново-подзолистая почва. Полимерами-модификаторами служили катионный поли(диаллилдиметиламмоний хлорид), анионные гуматы калия и гидролизованный полиакрилонитрил, а также нестехиометрические ИПЭК на их основе.



**Рис. 1.** Экспериментальные реологические кривые увлажненного чернозема

Полученные экспериментальные зависимости модуля накопления,  $G'_0$ , модуля потерь,  $G''_0$ , и тангенса угла механических потерь,  $\text{tg} \delta = G''/G'$ , от величины деформации,  $\epsilon$ , (Рис. 1) показали, что модификация дисперсных систем полиэлектролитами приводит к контролируемому изменению значений основных механических показателей ( $G'_0$ ,  $G''_0$ ,  $G'_{кр} = G''_{кр}$ ,  $\text{tg} \delta_0$ ,  $\epsilon_0$  и  $\epsilon_{кр}$ ) на 1-2 порядка. Анализ данных позволил выявить общие закономерности изменения и корреляции этих параметров друг относительно друга. Это дало возможность с помощью геометрических преобразований выработать алгоритм для прогнозирования хода реологических зависимостей (и, соответственно, всех характеристических параметров) по значениям  $G'_0$ ,  $G''_0$  (то есть параметрам, характеризующим только начальный участок экспериментальных кривых, и зависящих от исходной структуры образца).

УДК 678.744.33-13:[544.722.132:536.77]

## ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА И (ФТОР) АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ

**Климов В.В., Коляганова О.В., Брюзгин Е.В., Навроцкий А.В., Новаков И.А.**

*Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, 28  
E-mail: vicklimov@gmail.com*

Свободная энергия поверхности (СЭП) является одним из наиболее важных свойств, определяющих смачиваемость, трение и адгезию поверхности субстратов. Материалы с низкой поверхностной энергией могут быть использованы в качестве водоотталкивающих, антикоррозионных, противообрастающих и самоочищающихся покрытий. В связи с этим одной из актуальных областей исследований является направленное изменение свойств на границе раздела фаз, позволяющее управлять лиофильными характеристиками поверхности, в частности, придать привычным материалам водоотталкивающие свойства.

Ранее нашей научной группой предложено использование сополимеров на основе (фтор)алкилметакрилатов и глицидилметакрилата, содержащего реакционноспособные эпоксидные группы, в качестве агентов снижения свободной энергии для модификации поверхности алюминия и целлюлозосодержащих материалов. Прививка данных полимерных модификаторов на предварительно текстурированную поверхность алюминия обеспечивает достижение супергидрофобного состояния с углами смачивания до  $169^\circ$ . Целью работы является изучение влияния структуры ряда (фтор)алкилметакрилатов (F3-F7; C6-C18) и состава сополимеров при варьировании содержания якорного и функционального сомономера на изменение поверхностной энергии и устойчивость супергидрофобного состояния.

Полимерные покрытия на основе функциональных сополимеров обеспечивают низкую СЭП, так на гладком субстрате значения СЭП находятся в интервале от 25 до 13 мН/м, что обеспечивает достижение супергидрофобных свойств на поверхности текстурированного алюминия с углами смачивания от  $159^\circ$  до  $170^\circ$  и приводит к увеличению стабильности супергидрофобного состояния при длительных контактах с водой. Наименьшее значение СЭП, равное 13,76 мН/м, характерно для полимерного покрытия на основе сополимера поли-(ГБ-МА-со-ГМА), что сравнимо со значениями СЭП для полиэдрических олигомерных силесквioxанов и перфторированных кислот.

### **Благодарность**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках проекта № 23-73-00094

УДК

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ ПАВ-БЛИЗНЕЦОВ И ТЕТРА-ПАВ В ВОДОМАСЛЯНЫХ РАСТВОРАХ

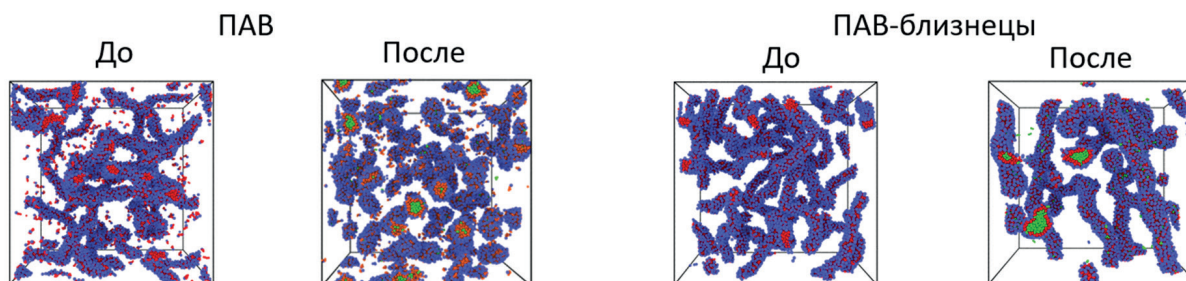
**Ковалев Д.М.<sup>1</sup>, Кравченко В.С.<sup>1,2</sup>, Потемкин И.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1-2, г. Москва, 119991*

<sup>2</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, ул. Вавилова 28, г. Москва, 119334  
E-mail: kovalev.daniil.kdm@yandex.ru*

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) — это разновидность амфифильных молекул, которые в водной среде могут образовывать сферические мицеллы, цилиндрические мицеллы и везикулы. Благодаря подобной богатой вариативности в видах агрегатов область применения ПАВ огромна. Например, гибкие цилиндрические мицеллы из ПАВ используются в нефтедобыче: благодаря способности переплетаться между собой и образовывать физическую сетку зацеплений они придают растворам ПАВ вязкоупругие свойства [1]. Еще одним ценным свойством подобных физических гелей является их способность легко разрушаться при контакте с нефтью и образовывать каналы, по которым нефть поступает к добывающей скважине. Однако в настоящий момент по-прежнему остается слабоизученным поведение агрегатов, образованных ПАВ-близнецами и тетра-ПАВ.

С помощью методов молекулярной динамики в данной работе были исследованы агрегаты, образуемые ПАВ-близнецами и тетра-ПАВ и их поведение при добавлении углеводородов в систему. Было произведено сравнение агрегатов, полученных из различных типов ПАВ, и показаны основные различия. Было показано что при добавлении углеводородов в систему также происходит разрушение структуры, но при значительно больших концентрациях углеводорода в системе.



**Рисунок 1.** Моментальные снимки смесей ПАВ с углеводородами.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-73-30013. Моделирование производилось на оборудовании Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

### Ссылки

[1] Kovalev D.M., Kravchenko V.S., Potemkin I.I., Nanofoam-like structure of surfactants in oil-water mixtures, Journal of Molecular Liquids 360 (2022) 119568

УДК 544.773.42+53.097

## ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ ПОИАНИЛИНА В ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНЕ: РОЛЬ МОРФОЛОГИИ ЧАСТИЦ

**Ковалева В.В.<sup>1</sup>, Кузнецов Н.М.<sup>1</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Захаревич А.А.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

<sup>2</sup> ИСПМ им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, 117393, Профсоюзная ул., д. 70

E-mail: victorykovaleya@gmail.com

Электрореологические жидкости (ЭРЖ) представляют собой суспензии поляризуемых частиц (наполнителя) в диэлектрической среде. При приложении электрического поля жидкость способна менять свое реологическое поведение с вязкого на упругое: происходит поляризация частиц с последующим формированием колончатых структур. ЭРЖ являются перспективным материалом для различных практических применений, например демпферы и заслонки быстрого переключения, мягкая робототехника, микрофлюидика и т.п. Однако в настоящее время в данной области существует ряд факторов, затрудняющих широкое использование таких материалов, среди которых необходимость высокой концентрации наполнителя для заметного отклика жидкости и низкая седиментационная устойчивость суспензий. Таким образом, актуальными являются исследования, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики ЭРЖ при минимизации содержания дисперсной фазы.

Полианилин – один из перспективных наполнителей для ЭРЖ благодаря легкому синтезу, хорошей стабильности, низкой стоимости материала и контролируемой проводимости. При этом в зависимости от условий синтеза можно получать частицы различной морфологии, а именно сферические микро- и наночастицы, нановолокна и др. Выявление влияния морфологии частиц полианилина на электрореологический эффект и седиментационную устойчивость суспензий является целью настоящей работы.

Исследованы низкоконцентрированные ( $\leq 2$  масс.%) суспензии частиц полианилина различной морфологии в полидиметилсилоксане. Методами инфракрасной спектроскопии и электронной микроскопии подтверждены химическая структура и морфология наполнителей. Обнаружено, что суспензии всех типов частиц проявляют электрореологический эффект: при приложении электрического поля на кривых течения появляется предел текучести, вязкость, модули накопления и потеря суспензий увеличиваются с ростом напряженности поля. В докладе обсуждаются актуальность и перспективы использования частиц полианилина для создания высокоэффективных низкоконцентрированных электрореологических материалов.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 22-73-10081).

УДК 54.03

## ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ MULTICOMP ДЛЯ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ

Книжник А.А.<sup>1,2</sup>, **Комаров П.В.**<sup>3,4</sup>, Сеница А.С.<sup>1,2</sup>, Ширабайкин Д.Б.<sup>2</sup>,  
Трепалин С.В.<sup>2,5</sup>, Потапкин Б.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва,  
пл. Академика Курчатова 1*

<sup>2</sup> *ООО «Кинтех Лаб», Москва, ул. 3-я Хорошевская 12*

<sup>3</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва,  
ул. Вавилова 28*

<sup>4</sup> *Тверской государственный университет, Тверь, Желябова 33*

<sup>5</sup> *Всероссийский институт научной и технической информации, Москва,  
ул. Усиевича 20*

*E-mail: pv\_komarov@mail.ru*

В докладе представлено описание пакета многоуровневого моделирования MULTICOMP [1], предназначенного для виртуального изучения полимерных материалов, в том числе сшитых полимерных матриц и нанокompозитов с различными типами наночастиц. Пакет имеет графический пользовательский интерфейс для построения модели материала, реализации процесса моделирования и анализа результатов. MULTICOMP может работать на персональном компьютере под управлением операционных систем Windows и Linux. Для профессионального использования он поддерживает клиент-серверную архитектуру, что позволяет производить построение модельных систем и обработку результатов на рабочей станции с переносом ресурсоёмких расчётов на удалённый вычислительный кластер.

В качестве примера использования пакета MULTICOMP представлены расчёты: 1) зависимости механических свойств эпоксидной полимерной матрицы от степени конверсии; 2) модуля упругости нанокompозита на основе поликапролактама, наполненного монтмориллонитом (6 об. %); 3) газопроницаемости многослойного органо-неорганического защитного покрытия.

### Благодарность

Работа выполнена с использованием оборудования НИЦ «Курчатовский институт» и Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [2].

### Ссылки

[1] M. A. Akhukov, et al. // Comput. Mater. Sci. – 2023. Vol. 216. – P. 111832.

[2] V.I. Voevodin, A. Antonov, D. Nikitenko, P. Shvets, S. Sobolev, I. Sidorov, K. Stefanov, Vad. Voevodin, S. Zhumatiy // Supercomputing Frontiers and Innovations – 2019. Vol. 6, № 2. – P. 4–11.

УДК

**ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ  
ГИДРИДСОДЕРЖАЩИМИ ОЛИГООРГАНОСИЛОКСАНАМИ****Консурова С.А., Агеенков А.Д., Солдатов М.А.**

*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,  
125047, Москва, Миусская пл., 9  
E-mail: svetlana.konsurova@yandex.ru*

Направленное регулирование поверхностных свойств полимерных покрытий является перспективной задачей, решение которой позволит расширить спектр их эксплуатационных свойств, а следовательно, и сферы применения.

Химическую модификацию полимеров олигоорганосилоксанами можно условно разделить на три типа: введение модификатора в объём полимера, нанесение модифицирующего агента на поверхность полимерного покрытия и модификация плёнообразователя в процессе синтеза. На фоне остальных видов химической модификации выделяется поверхностная, так как она изменяет поверхностные свойства полимера, не затрагивая его объёмные свойства.

Кремнийорганические соединения обладают рядом ценных характеристик, таких как повышенные термическая и химическая стойкости, а также низкая поверхностная энергия.

В данной работе описывается поверхностная модификация отвержденных полимерных покрытий олигоорганосилоксанами с терминальными гидридсилильными группами по реакции Пирса-Рубинштейна, заключающейся во взаимодействии реакционноспособных атомов водорода олигоорганосилоксана с гидроксильными группами, находящимися на поверхности покрытия.

В ходе работы были получены модельные системы модифицированных отверждённых полимерных покрытий. Был подобран оптимальный растворитель для данной реакции – дихлорметан. Выбор осуществлялся на основании анализа результатов экстракции растворителем в аппарате Сокслета, а также на основании краевых углов смачивания поверхности водой. Было показано влияние привитого кремнийорганического слоя на поверхностные свойства полимерных покрытий, в том числе эксплуатационных характеристик, таких как коррозионная стойкость в различных статических средах, эластичность и твёрдость покрытий.



УДК 678.7

## ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЗУЮЩЕЙ ГРУППЫ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОНАБУХАЮЩИХ РЕЗИН

**Коробейников Г.В.<sup>1</sup>, Бочкачѳв Е.С.<sup>1</sup>, Смирнова С.С.<sup>1</sup>, Ваниев М.А.<sup>1</sup>, Новаков И.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный технический университет”,  
г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28  
E-mail:georgii\_kor@vstu.ru*

В связи с тем, что пакер в скважине находится под постоянной динамической нагрузкой необходимо исследовать поведение материала в условиях, приближенных к эксплуатационным. Таким образом, целью работы является изучение влияния вулканизирующей группы на динамические характеристики водонабухающих резин.

Рецептуры исследуемых резин базировались на полярном каучуке марки БНКС-28 АН и водонабухающем агенте Na-карбоксиметилцеллюлоза марки Na-КМЦ 85/700. Отличались рецептуры типом и количеством вулканизирующей группы для обеспечения образования сшивок различной сульфидности. Для получения сшивок полисульфидного типа применялась стандартная вулканизирующая система (сера/сульфенамид Ц). В случае моно- и дисульфидных сшивок – эффективная вулканизирующая система (сульфенамид Ц/тиурам Д/дитиодиморфолин). Динамические испытания эластомеров проводились на реометре MonTech MDR 3000 Professional в режиме работы DMDR в соответствии со стандартом АСТМ Д6601-02.

Результаты эксперимента показывают, что с увеличением количества стандартной вулканизирующей группы значения эффекта Пейна и Маллинза увеличиваются от 1673 и 259 до 4031 и 485 соответственно. В то время как вулканизаты, полученные с применением эффективной вулканизирующей группы при значительном росте химической плотности сшивания увеличивают эффект Пейна и Маллинза с 1563 и 206 до 2128 и 271, соответственно. В связи с высокой степенью наполнения резин такие изменения ожидаемы. Анализируя диаграммы «Коула-Коула» для резин с полисульфидной сшивкой при содержании серы более 1,0 масс.ч. существенно возрастает модуль потерь при деформации до 50 %, в то время как эффективная вулканизирующая система демонстрировала преимущественно пластические свойства, особенно при высоких удлинениях. Из совокупности данных можно заключить, что формируемые стандартной системой связи существенно ограничивают подвижность макромолекул, снижая эластическую составляющую резин. Использование эффективной вулканизирующей системы позволяет сохранить высокую эластичность водонабухающих резин, однако, при этом значительно увеличивается вымываемость агента Na-КМЦ.

### **Благодарность**

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

УДК 541.64:539.199

## ГЕТЕРОГЕННАЯ СШИВКА ПТМСП ПАРА-КСИЛИЛЕНДИАМИНОМ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МЕМБРАННОГО МАТЕРИАЛА

**Коссов А.А., Макрушин В.П., Матсон С.М.**

*ФГБУН Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
г. Москва, Ленинский проспект, 29  
E-mail: akossoff@ips.ac.ru*

Особенности химического строения и надмолекулярной структуры полимеров 1,2-дизамещенных ацетиленов, таких как поли(1-триметилсилил-1-пропин) – ПТМСП и его аналоги, обуславливают их высокие параметры газо- и паропереноса и интерес к получению на их основе мембранных материалов. Однако, использованию ПТМСП в реальных мембранных процессах препятствуют его низкая устойчивость к ряду неполярных органических веществ, в частности, высшим углеводородам, следы которых присутствуют в промышленных смесях, например, в природном и попутном нефтяном газе, а также склонность этого класса полимеров к физическому старению, что сопровождается снижением мембранных характеристик со временем. Одним из способов стабилизации мембранных свойств ПТМСП может являться получение на его основе сшитых полимеров с использованием реакций нуклеофильного замещения у насыщенного атома углерода. В частности, известно, что эффективными сшивающими агентами для полимерных мембран могут являться различные алифатические и ароматические амины [1,2]. Нами разработан двустадийный способ синтеза сшитых мембран на основе ПТМСП путем его радикального бромирования под действием N-бромсукцинимиды (NBS) с последующим сшиванием по связям C-Br под действием спиртового раствора пара-ксилилендиамин (п-КДА). В ходе обработки раствором сшивающего агента пленка становится практически полностью нерастворимой в органических растворителях. Методом ИК-спектроскопии установлено присутствие в структуре сшитого ПТМСП NH-связей и бензольных колец, что указывает на наличие сшивок с участием аминогрупп п-КДА. Полученные сшитые мембраны проявляют высокий уровень проницаемости, характерный для 1,2-дизамещенных полиацетиленов, и селективность при разделении углеводородной смеси н-бутан – метан. По результатам ТГА сшитые пленки ПТМСП проявляют большую термоокислительную стабильность. Сочетание перечисленных свойств позволяет рассматривать полученные сшитые полимеры в качестве потенциальных мембранных материалов для газоразделения, например, кондиционирования природного газа или выделения тяжелых углеводородов из попутного газа.

### Ссылки

- [1] Cao C, Chung T-S, Liu Y, Wang R, Pramoda KP. J Membrane Sci. 2003, Vol. 216. – P. 257-268.  
[2] Qiao X, Chung T-S. AIChE Journal. 2006, Vol. 52. - P 3462-3472.

УДК 541.64:542(943+952)

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГИБРИДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИДИФЕНИЛАМИН-2-КАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА В ЛИТИЕВОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

**Костев А.И.<sup>1</sup>, Озкан С.Ж.<sup>1</sup>, Ткаченко Л.И.<sup>2</sup>, Карпачева Г.П.<sup>1</sup>, Ефимов О.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской Академии Наук,  
119991, Москва, Ленинский проспект, 29

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
123432, Черноголовка, Московская обл., проспект акад. Семенова, д.1, Россия  
E-mail: kostev@ips.ac.ru

Впервые получены гибридные нанокompозитные материалы на основе полидифениламин-2-карбоновой кислоты (ПДФАК) и восстановленного оксида графена (ВОГ) двумя способами: *in situ* окислительной полимеризацией дифениламин-2-карбоновой кислоты (ДФАК) в присутствии оксида графена (ОГ) в гетерофазной системе в щелочной среде (ВОГ/ПДФАК-1) и из раствора ПДФАК в ДМФА, содержащего 20 и 50 масс. % ОГ (ВОГ/ПДФАК-2). Предложен экологичный способ довосстановления ОГ в предварительно синтезированных двумя способами композитах с разной структурой в условиях ИК-нагрева без добавления химических восстановителей, которые могут привести к загрязнению конечного продукта. Довосстановление ОГ происходит под действием водорода, выделяющегося при дегидрировании полисопряженной полимерной матрицы в условиях ИК-нагрева в атмосфере аргона при  $T = 300\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 мин. Температуру ИК-нагрева определяли по данным ТГА для предотвращения деструкции полимерной цепи.

Исследовано электрохимическое поведение полученных гибких электродных материалов на основе нанокompозитных покрытий ВОГ/ПДФАК в литиевом органическом электролите 1 М  $\text{LiClO}_4$  в пропиленкарбонате [1]. При нанесении электроактивных покрытий ВОГ/ПДФАК до и после ИК-нагрева на разрыхленные функционализированные полоски анодированной графитовой фольги (АГФ) значительная часть суспензии впитывается в приграничный слой. Прямоугольная форма ЦВА композитных покрытий ВОГ/ПДФАК свидетельствует о преимущественном вкладе в удельную емкость заряжения двойного электрического слоя. Кулоновская эффективность  $\eta$  электродов АГФ/ВОГ/ПДФАК близка к 100%. В зависимости от способа получения и массы электроактивных покрытий при токах заряда-разряда 0.5, 1.5, 3.0  $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$  удельные электрохимические емкости электродов достигают 752, 524, 329  $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$  для АГФ/ВОГ/ПДФАК-2 (0.21 мг) и 691, 455, 255  $\text{F}\cdot\text{g}^{-1}$  для АГФ/ВОГ/ПДФАК-1<sub>ИК</sub> (0.11 мг). При этом основной вклад в электрохимическую емкость электродов вносит тонкий слой покрытия.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

### Ссылки

[1] Ozkan S.Zh., Tkachenko L.I., Efimov O.N., Karpacheva G.P., Nikolaeva G.V., Kostev A.I., Dremova N.N. // *Polymers*. – 2023. – V. 15. – P. 1896.

УДК 537.622.4

## МАГНИТОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ КАРБОНИЛЬНОГО ЖЕЛЕЗА СФЕРИЧЕСКОЙ И ПЛАСТИНЧАТОЙ ФОРМЫ

**Костров С.А.<sup>1,2</sup>, Разаков В.С.<sup>2</sup>, Степанов Г.В.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, 119991 Москва, Ленинские горы, 1-2*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, 117393 Москва, ул. Профсоюзная, 70  
E-mail: kostrov@polly.phys.msu.ru*

Магнитополимерные композиты являются примером умных материалов, свойствами которых можно управлять за счет воздействия внешнего магнитного поля. Одним из таких свойств является модуль упругости материала. Магнитоупругие свойства материалов на основе анизометричных частиц до сих пор не изучены в литературе. Поэтому в данной работе были созданы магнитополимерные композиции на основе полидиметилсилоксана и частиц сферического и пластинчатого карбонильного железа с содержанием наполнителя от 30 до 60 мас. %. Одна серия образцов синтезировалась в отсутствие магнитного поля, а другая серия – в однородном магнитном поле для создания начальной анизотропии распределения магнитного наполнителя. Таким образом изучалось влияние анизотропии не только формы самих магнитных частиц, но и их распределения внутри полимерной матрицы. Было проведено сравнение упругих модулей материалов при различных частотах и амплитудах деформации в магнитных полях величиной до 1 Тл. Показано, что при малых концентрациях магнитного наполнителя материалы на основе пластинчатого железа демонстрируют более высокий магнитный отклик, а при высоких – на основе сферического. Такое поведение связано с тем, что анизометричные частицы образуют перколяционный кластер при меньших концентрациях, чем сферические, а при высоких концентрациях магнитного наполнителя повороты пластинчатых частиц затруднены из-за плотной упаковки.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-13-00340-П.

УДК 536.495: 620.179.4: 691-419.8

## ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ АДГЕЗИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН С ПОЛИМЕРАМИ

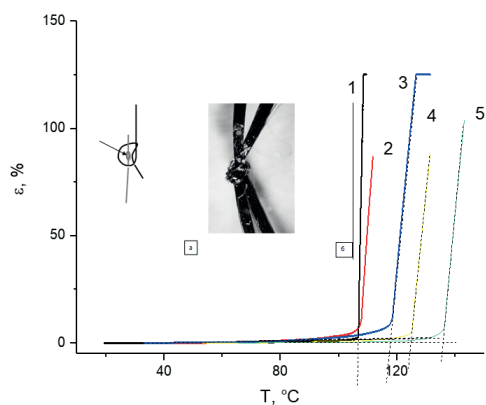
**Котомин С.В.**<sup>1,2</sup>, Горячева В.Н.,<sup>2</sup> Голубев Я.В.<sup>1</sup>, Обидин И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ИИХ РАН, Москва, Ленинский проспект, 29

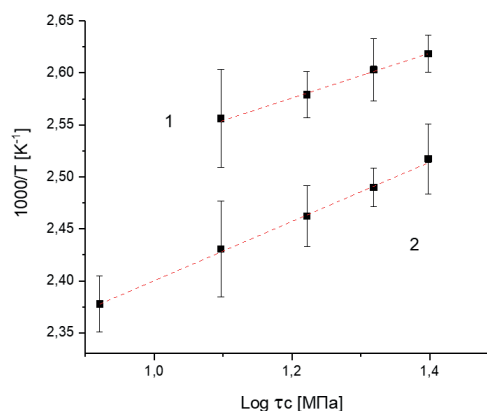
<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 2я Бауманская ул. 5

E-mail:svk@ips.ac.ru

Теплостойкость адгезионных соединений гетероарамидных нитей СВМ и цианоакрилатного клея исследовали по температуре разрушения склейки нитей в адгезионной ячейке, образованной затянутой в узел петлей [1]. Впервые получены данные по теплостойкости адгезионных соединений волокон с полимерной матрицей при статической нагрузке с постоянным напряжением сдвига. На примере двух типов этилцианоакрилатного клея – с наполнителем (I) и с без наполнителя (II) показано влияние наполнителя (аэросила) и волокон на температуру стеклования полицианоакрилата и теплостойкость склейки [2]. Рассчитана энергия активации разрушения адгезионного соединения и установлена зависимость теплостойкости склейки от напряжения сдвига, соответствующая «аррениусовскому» типу.



**Рисунок 1.** Термомеханические кривые при скорости нагрева (1) 2 и (2,3,4,5) 10° С /мин для (1,2,3) образцов с клеем I и (4,5) клеем II при усилии натяжения (1,2,4) 3 Н и (3,5) 1,5 Н. Схема формирования адгезионной ячейки (а) и фотография разрушенного соединения (б)



**Рисунок 2.** Зависимость теплостойкости [ K<sup>-1</sup>] склейки от напряжения сдвига для клея (1) типа I и (2) типа II

### Ссылки

[1] Kotomin S. V., Obidin I. M., Pavluchkova E. A. // Mechanics of composite materials. 2022. V. 58. № 1. PP. 141-150.

[2] Kotomin, S.V., Golubev, Y.V., Gurov, A.A. Obidin I. M Heat Resistance of Adhesive Joints of Heterocyclic Aramid Fibers under Static Load. // Polym. Sci. Ser. A –

УДК 678.742.2:539.3

## РЕЛАКСАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОРОШКООБРАЗНОГО СВМПЭ ПРИ СЖАТИИ И СПЕКАНИИ

**Котомин С.В.<sup>1,2</sup>, Дудка Д.В.<sup>1</sup> Митюков А.В.<sup>1</sup>**

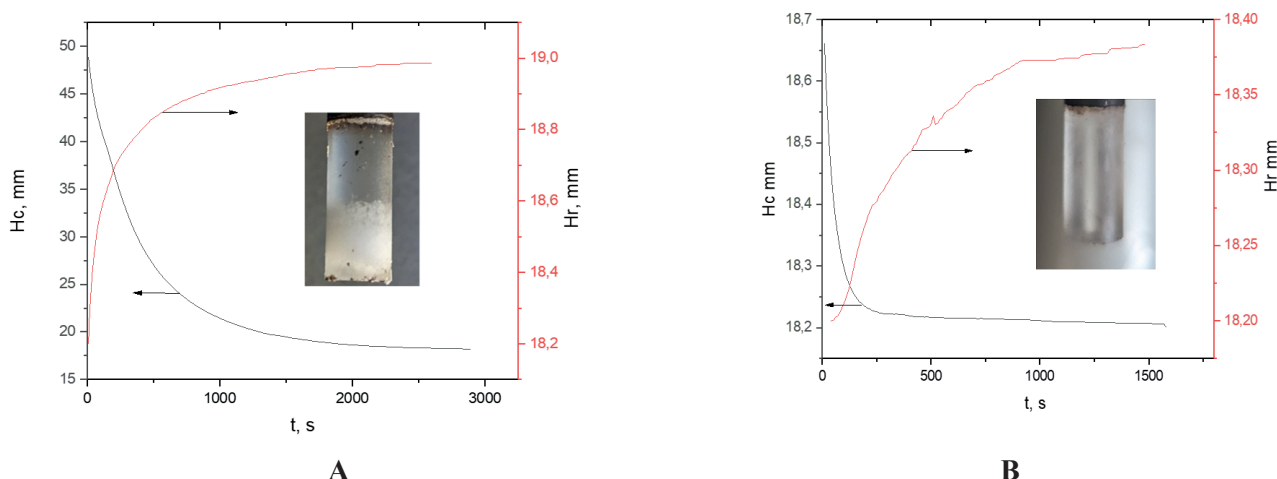
<sup>1</sup> ИИХ РАН, Москва, Ленинский проспект, 29

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 2я Бауманская ул. 5

E-mail:svk@ips.ac.ru

Порошкообразный СВМПЭ представляет интерес для получения изделий с использованием аддитивных технологий, в том числе методом лазерного спекания (SLS). Исследованы кинетика уплотнения и спекания под давлением порошков СВМПЭ различных марок, а также ретардация (восстановление деформации) после спекания. Релаксацию СВМПЭ в этих условиях ранее не изучали [1,2].

Выявлено, что спекание порошка происходит неравномерно по объему образца, что связано с градиентом давления вследствие трения порошка по поверхности цилиндра, в котором происходит спекание.



**Рисунок 1.** Кинетические кривые уплотнения при сжатии ( $H_c$ ) и восстановления деформации ( $H_r$ ) после спекания при 473 К для СВМПЭ марки GUR 4150 при напряжении сжатия (А) 1,28 МПа, и (В), 1,98 МПа и фото соответствующих (горячих) образцов после извлечения из камеры.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 23-69-10001.

### Ссылки

[1] Hambir S., Jog J.P. Sintering of ultra high molecular weight polyethylene // Bull. Mater. Sci. – 2000. –Vol. 23. –№ 3. P. 221–226.

[2] Мясникова Л.П., Дроботько В.Ф., Борзенко А.П., Бойко Ю.М., Марихин В.А., Терехов С.А., Яговкина М.А. Поиск оптимальных условий монолитизации реакторного порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Физика твердого тела. – 2021. – № 11. С.1943–1950



УДК 537.533.9+544.725.2

## ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ МЕМБРАННОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ

**Кравец Л.И.<sup>1</sup>, Ярмоленко М.А.<sup>2</sup>, Рогачев А.В.<sup>2</sup>, Гайнутдинов Р.В.<sup>3</sup>, Яблоков М.Ю.<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup> *Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,  
Гомель, ул. Советская 104, 246699 Беларусь*

<sup>3</sup> *Федеральный научно-исследовательский центр “Кристаллография и фотоника”  
Российской академии наук, Москва, Ленинский пр. 59, 119333 Россия*

<sup>4</sup> *Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, ул. Профсоюзная 70, 117393 Россия  
E-mail: kravets@jinr.ru*

Рассмотрены способы формирования одно- и двухслойных полимерных покрытий на поверхности гидрофильной трековой мембраны из полиэтилентерефталата (ПЭТФ ТМ) с помощью метода электронно-лучевого диспергирования полимеров в вакууме. Установлено, что применение данного метода модифицирования при использовании в качестве мишени для диспергирования сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) приводит к образованию композиционных мембран (КМ), состоящих из двух слоев, одним из которых является исходная трековая мембрана, характеризующаяся средним уровнем гидрофильности. Угол смачивания водой этого слоя составляет 65°. Второй слой имеет гидрофобную природу, величина угла смачивания которого, в зависимости от его толщины, изменяется от 92° до 125°. Показано, что осаждение на поверхности покрытия из СВМПЭ с морфологически развитой структурой второго полимерного слоя толщиной от 50 нм до 100 нм, получаемого электронно-лучевым диспергированием политетрафторэтилена (ПТФЭ), приводит к формированию покрытий, обладающих супергидрофобными свойствами. Угол смачивания водой покрытий такого типа, в зависимости от их общей толщины, изменяется от 150° до 160°. Для получения на поверхности мембраны однослойного супергидрофобного покрытия в качестве мишени применяли политетрафторэтилен. Показано, что композиционные мембраны разработанного образца могут быть использованы в процессах обессоливания водного раствора хлорида натрия методом мембранной дистилляции. Установлено, что использование тонкого супергидрофобного слоя в сочетании с толстой гидрофильной основой вследствие низкого сопротивления массообмену позволяет существенно повысить производительность процесса мембранной дистилляции. Получаемый в результате проведения обессоливания дистиллят соответствует требованиям, предъявляемым к питьевой воде, а также к технологической воде во многих производствах.

УДК 621.793.18+544.725.2

## ОСАЖДЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН МЕТОДОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

**Кравец Л.И.<sup>1</sup>, Алтынов В.А.<sup>1</sup>, Гильман А.Б.<sup>2</sup>, Satulu V.<sup>3</sup>, Mitu B.<sup>3</sup>, Dinescu G.<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, ул. Профсоюзная 70, 117393 Россия

<sup>3</sup> National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Atomistilor Str. 409, 077125 Romania  
E-mail: kravets@jinr.ru

Исследованы поверхностные и электротранспортные свойства композиционных мембран (КМ), образующихся при осаждении на поверхности полиэтилентерефталатных трековых мембран (ПЭТФ ТМ) наноразмерных покрытий, полученных методом высокочастотного магнетронного распыления политетрафторэтилена (ПТФЭ) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) в вакууме. Показано, что нанесение таких покрытий приводит к гидрофобизации поверхности ПЭТФ ТМ, степень которой зависит от толщины покрытия. Так, если исходная мембрана характеризуется величиной угла смачивания водой, равной  $65^\circ$ , то для ПЭТФ ТМ со слоем СВМПЭ в зависимости от его толщины эта величина изменяется от  $78^\circ$  до  $94^\circ$ , а в случае осаждения покрытия из ПТФЭ – от  $110^\circ$  до  $112^\circ$ . Исследование морфологии поверхности КМ показало, что осаждение полимерных покрытий приводит к сглаживанию структурных неоднородностей поверхностного слоя исходной мембраны и вызывает сужение пор на ее поверхности. Поры в образующихся КМ приобретают асимметричную форму. Исследование методом РФЭС химической структуры осажденных покрытий выявило значительное различие химического состояния углерода в исходных полимерах и в покрытиях. Покрытия, полученные методом магнетронного распыления СВМПЭ и ПТФЭ содержат значительное количество кислородсодержащих функциональных групп. Установлено, что формирование на одной из сторон трековых мембран слоя полимера, существенно уменьшающего диаметр пор, приводит к созданию КМ, обладающих в растворах электролитов асимметрией проводимости, проявляющейся при различной ориентации мембран в электрическом поле. Это свойство обусловлено уменьшением диаметра пор в слое осажденного полимера, приводящим к изменению их геометрии, а также наличием межфазной границы раздела в порах между исходной мембраной и слоем осажденного полимера. Подобного рода мембраны могут найти применение при разработке различных систем с обратной связью, химических и биохимических сенсоров.

УДК 537.622.4

## УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ МАГНИТОАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Исмаилова А.О.<sup>1,2</sup>, [Крамаренко Е.Ю.](#)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С.Ениколопова РАН, Москва, Россия  
E-mail: ismailova.ao19@physics.msu.ru*

Магнитоактивные полимерные материалы (МПА) – это композитные материалы, состоящие из полимерных матриц и частиц магнитного наполнителя. Благодаря мягкости полимерной матрицы в магнитном поле частицы наполнителя выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля. Это может привести к деформации образца [1], а также к изменению структуры приповерхностного слоя материала [2]. Так как структура поверхности влияет на смачиваемость, то целесообразно исследование гидрофобных свойств МПА и их изменения под воздействием магнитного поля. Применяются результаты исследований, например, для создания хорошо адаптируемых мягких роботов, способных безопасно манипулировать биологическими объектами [3].

В данной работе проведено сравнение краевых углов смачивания водой и структуры поверхности изотропных и анизотропных композитов на основе сшитого полидиметилсилоксана с концентрацией карбонильного железа 50, 60, 75 и 80 масс. %, и уретан-силоксановых сополимеров с концентрацией магнитных частиц 50 масс%., исследовано влияние поверхностной модификации частиц железа, а также низкомолекулярного пластификатора на гидрофобные свойства МПА.

Обнаружено, что: анизотропные МПА обладают более выраженными гидрофобными свойствами в магнитном поле; при уменьшении толщины пленки МПА усиливается отклик на магнитное поле; МПА с низкомолекулярным пластификатором демонстрируют больший рост краевого угла, чем образцы, синтезированные на гребнеобразных полимерах; модификация частиц наполнителя триметилхлорсиланом делает МПА более чувствительными к магнитному полю.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №23-43-00057).

### Ссылки

- [1] Shamonin M., Kramarenko EY. Highly responsive magnetoactive elastomers. In Novel Magnetic Nanostructures //Elsevier – 2018 – P. 221–245.
- [2] V.V. Sorokin, B.O. Sokolov, G.V. Stepanov, E. Yu. Kramarenko Controllable Hydrophobicity of Magnetoactive Elastomer Coatings// Journal of Magnetism and Magnetic Materials – 2018 – vol. 459 – P. 268-271.
- [3] Venkiteswaran V. K. et al. Bio-inspired terrestrial motion of magnetic soft millirobots //IEEE Robotics and automation letters – 2019. – vol. 4(2) – P. 1753-1759.

УДК 544.723.5

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЕВЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕРФЕЙСНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

**Красников Д.А.<sup>1,2</sup>, Труль А.А.<sup>1</sup>, Гайдаржи В.П.<sup>1</sup>, Полинская М.С.<sup>1</sup>, Борщев О.В.<sup>1</sup>, Агина Е.В.<sup>1</sup>, Пономаренко С.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ИСПМ им. Ениколопова РАН, Москва, Профсоюзная улица, 70

<sup>2</sup> МГУ им. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д. 1

E-mail: danankr@gmail.com

В области разработки доступных портативных газоанализаторов перспективный подход включает использование тонкопленочных органических полевых транзисторов (ОПТ) с полупроводниковым слоем, чувствительным к ряду соединений в воздушной атмосфере [1]. Исследования электрических и сенсорных свойств ОПТ на основе бензотиенобензотиофена (ВТВТ) уже были представлены в литературе [2,3], но вопрос о влиянии химической структуры интерфейсного диэлектрика на эти характеристики остается открытым.

В этом исследовании фокус сделан на изучении эффекта интерфейсного диэлектрика на сенсорные свойства ОПТ ВТВТ. Использовались образцы с полистиролом (ПС), октилдиметилхлорсилан (ОДМХС), полиметилметакрилатом (ПММА), СУТОР и образцы без полимерного интерфейсного слоя.

Результаты показали, что чувствительность сенсора зависит от материала интерфейсного диэлектрика, также полимерный интерфейсный слой влияет на селективность и скорость восстановления. Это говорит о том, что материал интерфейсного диэлектрика также принимает участие во взаимодействии с токсичным газом и его выбор следует учитывать в зависимости от возможных практических применений.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-73-30028)

### Ссылки

- [1] Trul A. A., Sizov A. S., Chekusova V. P., et. al. Organosilicon Dimer of Btbt as a Perspective Semiconductor Material for Toxic Gas Detection with Monolayer Organic Field-Effect Transistors // Journal of Materials Chemistry C. – 2018. – V. 6, № 36. – P. 9649-9659.
- [2] Trul A. A., Chekusova V. P., Polinskaya M. S., et. al. NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S Real-Time Detection in the Humid Air by Two-Layer Langmuir-Schaefer Ofets // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2020. – V. 321.
- [3] Sizov A. S., Trul A. A., Chekusova V. P., et. al. Highly Sensitive Air-Stable Easily Processable Gas Sensors Based on Langmuir-Schaefer Monolayer Organic Field-Effect Transistors for Multiparametric H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> Real-Time Detection // ACS Appl Mater Interfaces. – 2018. – V. 10, № 50. – P. 43831-43841.

УДК 620.22:678.6

## РОЛЬ ГИБРИДНОГО НАПОЛНЕНИЯ В УПРОЧНЕНИИ И ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Дубровский В.В., [Кривогуз Ю.М.](#), Макаренко О.А.

*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель, ул. Кирова 32а, 246050, Беларусь  
E-mail: [yurikriv@tut.by](mailto:yurikriv@tut.by)*

В докладе приводятся результаты исследования влияния гибридного наполнения коротким стекловолокном (СВ) и многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ) на статические и динамические механические свойства полиэтилентерефталата (ПЭТ), а также особенности его структуры. В работе применяли ПЭТ марки 8200 (ТУ РБ 03301552.001–95) производства ОАО «Могилевхимволокно», алюмоборосиликатный стеклоровинг марки ЕС13-2400Н-54С производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (ТУ РБ 300059047.051–2003, диаметр моноволокон 13 мкм) и МУНТ марки NC 7000 (диаметр  $\approx 9,5$  нм, средняя длина – 1,5 мкм, площадь поверхности – 250–300 м<sup>2</sup>/г) от фирмы Nanocyl (Бельгия). Компаундирование компонентов осуществляли в двухшнековом экструдере TSSK-35/40 (D = 35 мм, L/D = 40, 10 независимо обогреваемых секций) с однонаправленным вращением шнеков. Исследуемые композиты содержали от 15 до 60 мас.% СВ, концентрация МУНТ составляла 0,5 и 1,6 мас.%.

Выполненные исследования позволили установить, что для композитов ПЭТ/СВ/МУНТ модуль упругости ( $E_p$ ) и прочность ( $\sigma_p$ ) при растяжении возрастают с увеличением концентрации СВ примерно в равной степени для обеих концентраций МУНТ во всем интервале содержания волокон. Модуль при изгибе ( $E_{ii}$ ) для данных композитов синергически повышается при содержании в них СВ более, чем 30 мас.%. При этом наиболее выраженный эффект упрочнения характерен для композитов с добавкой 0,5 мас.% МУНТ. Следует отметить, что при растяжении при предельно большой концентрации СВ ( $\approx 60$  мас.%) для гибридного композита ПЭТ/СВ/МУНТ зарегистрирована величина  $E_p = 24$  ГПа, что более, чем на один десятичный порядок превышает данный показатель для ненаполненного ПЭТ. Кроме этого установлено, что величина динамического модуля сдвига ( $G'$ ) гибриднонаполненных композитов заметно превосходит таковую для бинарных систем ПЭТ/МУНТ и ПЭТ/СВ, при чем в области температур выше 100 °С, когда ПЭТ находится в высокоэластическом состоянии, эффект упрочнения выражен более ярко. Причиной проявления наблюдаемых эффектов могут быть интенсификация межфазной адгезии при введении добавок МУНТ, а также позитивное влияние нанотрубок на размер СВ. Обнаружено также, что добавки МУНТ оказывают нуклеирующее влияние на кристаллизацию связующего и повышают его термостабильность. Таким образом, при гибридном наполнении ПЭТ коротким стекловолокном и МУНТ удастся получить композиты, обладающие одновременно высокими жесткостью и механической прочностью. Полученные результаты следует учитывать при создании композитов с высоким уровнем показателей механических свойств.

УДК 53.097, 544.77.022, 544.773.4

## НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ: РОЛЬ МОРФОЛОГИИ НАПОЛНИТЕЛЯ

**Кузнецов Н.М.<sup>1</sup>, Ковалева В.В.<sup>1</sup>, Загоскин Ю.Д.<sup>1</sup>, Чвалун С.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 123182, пл. Академика Курчатова, д. 1

<sup>2</sup> ИСПМ им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, 117393, Профсоюзная ул., д. 70

E-mail: kuz993@yandex.ru

Стимул-чувствительные материалы, способные к обратимым изменениям физико-химических свойств или морфологии в ответ на внешние воздействия, все чаще используют в различных «умных» устройствах, таких как сенсоры, актуаторы, защитные покрытия и т. д. Представителем таких материалов в области дисперсных систем являются электрореологические жидкости – суспензии проявляющие переход от вязкого поведения к упругому под действием электрического поля за счет поляризации частиц наполнителя с образованием протяженной структуры [1].

Полимерные наполнители для электрореологических жидкостей представляют особый интерес в виду возможности направленного регулирования морфологии и электрических характеристик частиц. В настоящей работе рассмотрено электрореологическое поведение суспензий, наполненных полимерными частицами различной природы, а именно полисахаридами (хитин [2], хитозан [3] и целлюлоза [4]) и полианилином в силиконовом масле в диапазоне напряженностей электрического поля до 7 кВ/мм. Показана ключевая роль надмолекулярной структуры частиц при создании низкоконцентрированных электрореологических жидкостей, обладающих контрастным изменением свойств в электрическом поле. Разработан новый подход к получению высокопористых наполнителей с высокой седиментационной устойчивостью в суспензиях силиконового масла. Жидкости, наполненные такими частицами, обладают высокими значениями предела текучести до 550 Па в электрическом поле при концентрации наполнителя всего 1 масс.% и демонстрируют седиментационное отношение >90% на протяжении не менее месяца. Показаны перспективы регулирования свойств низконаполненных электрореологических жидкостей путем направленного изменения структуры наполнителя.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 22-73-10081.

### Ссылки

- [1] Kuznetsov N.M. et al. Electrorheological fluids: from historical retrospective to recent trends // Mater. Today Chem. – 2022. – Vol. 26. – P. 101066.  
[2] Kovaleva V.V. et al. Low-filled suspensions of  $\alpha$ -chitin nanorods for electrorheological applications // Carbohydr. Polym. – 2022. – Vol. 277. – P. 118792.  
[3] Kuznetsov N.M. et al. Enhanced electrorheological activity of porous chitosan particles // Carbohydr. Polym. – 2021. – Vol. 256. – P. 117530.  
[4] Kovaleva V.V. et al. Electrorheological behavior of cellulose in silicon oil. The effect of filler morphology // Cellulose. – 2024. DOI: 10.1007/s10570-024-05862-4.



УДК 541.66

## ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

**Кузнецова Д.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 11  
E-mail: ku.znetsova.daria@yandex.ru*

Интумесцентные покрытия на основе эпоксидных смол широко применяются в качестве средства пассивной огнезащиты благодаря их способности обеспечивать высокую огнестойкость в условиях наиболее агрессивных сценариев развития пожара.

Для исследования влияния молекулярной массы  $M_w$  эпоксидного связующего на огнезащитные свойства интумесцентного покрытия были отобраны коммерчески доступные марки эпоксидиановых диановых смол с разным значением  $M_w$ . Оценку огнезащитной эффективности (ОЭ) интумесцентных составов на их основе проводили на лабораторном стенде, моделирующем стандартный (целлюлозный) режим пожара в соответствии с ГОСТ 30247.0-94. Степень расширения  $H$  образцов определяли при 600 °С

Таблица 1. Результаты огневых испытаний

Марка смолы	$M_w$ , г/моль	$H$ , %	ОЭ, мин
NPEL-128	374	580	44
NPEL-128S	426	520	62
NPSN 136×80	644	450	55
NPSN 901×75	946	380	50

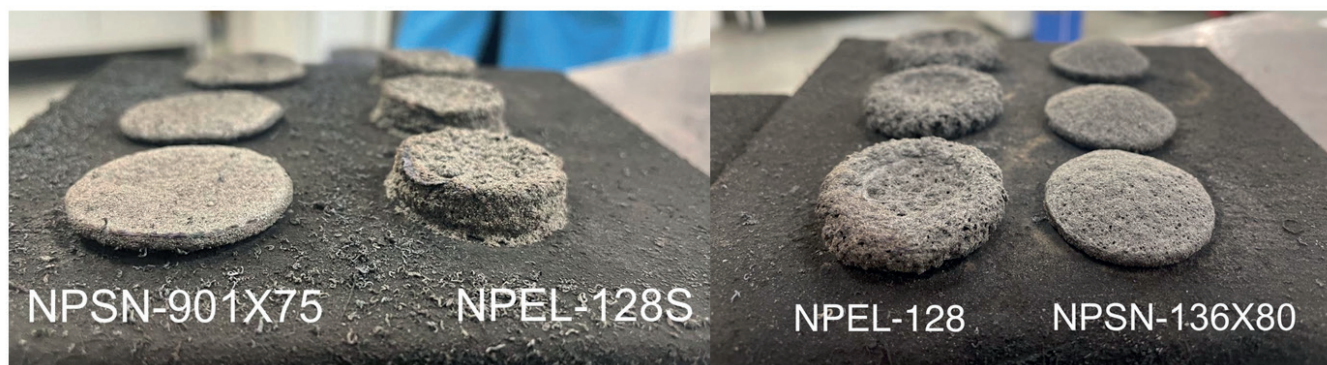


Рис. 1. Внешний вид образующегося пенкокка

Установлено, что с увеличением  $M_w$  степень расширения покрытия снижается и увеличивается прочность пенкокка (таблица 1, рис. 1). Однако при высоких значениях  $M_w$  (NPSN 901×75) целостность пенкокка снижается, образуются трещины, снижающие ОЭ покрытия.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках проектов (договоров): АААА-А21-121011590086-0 и №202/23 от 01.02.23.

УДК 66.081.6

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ НЕПОРИСТЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРБЛОКАМИДА, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИМИ КАРКАСНЫМИ СТРУКТУРАМИ

**Кузьминова А.И., Карякина А.С., Саломатин К.А., Степанова А.С., Дубовенко Р.Р., Дмитренко М.Е., Селютин А.А., Пенькова А.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9  
E-mail: a.kuminova@spbu.ru*

Мембранные методы являются хорошей альтернативой традиционным методам разделения и концентрирования за счет своей энергоэффективности, производительности и отсутствия дорогостоящего оборудования. Для мембранного разделения требуется мембрана с заданными свойствами, которая будет отвечать за селективность и проницаемость мембранного процесса. Полимеры нашли широкое применение в качестве мембранных материалов в связи со своей дешевизной, простотой модификации, воспроизводимости транспортных характеристик, а также хорошей пленкообразуемости. Среди полимерных мембран широкое распространение находят мембраны со смешанной матрицей, которые сохраняют в себе достоинства полимерной матрицы, а также органического и/или неорганического модификатора, что позволяет проводить более эффективное разделения по сравнению с использованием мембран на основе гомополимеров.

В данной работе были разработаны мембраны на основе полиэфирблочнокамида (ПЭБА), модифицированные металлоорганической каркасной структурой на основе гольмия и бензол-1,3,5-трикарбоновой кислоты – Но-1,3,5-Н<sub>3</sub>btc. Транспортные свойства разработанных мембран были исследованы в двух мембранных процессах: первапорации и нанофльтрации. Перапорационный эксперимент проводился для разделения смеси изопропиловый спирт/вода (5/95 масс. %), в то время как нанофльтрационный эксперимент - для удаления ионов тяжелых металлов (Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>) из воды. Структурные и физико-химические свойства разработанных мембран были изучены с помощью инфракрасной спектроскопии, ядерного магнитного резонанса, сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, термогравиметрического анализа, экспериментов по набуханию и измерению углов смачивания.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00473, <https://rscf.ru/project/23-29-00473/>. Экспериментальная часть проводилась при участии ресурсных центров: Междисциплинарный ресурсный центр по направлению «Нанотехнологии», Термогравиметрические и калориметрические методы исследования, Криогенный отдел, Методы анализа состава вещества, Магнитно-резонансные методы исследования, Вычислительный центр Санкт-Петербургского государственного университета.

УДК: 544.022.246

## ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УРЕТАНОВЫХ СЕГМЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРИАЗОЛОМ, МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Курбатов А.О.<sup>1,2</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>**

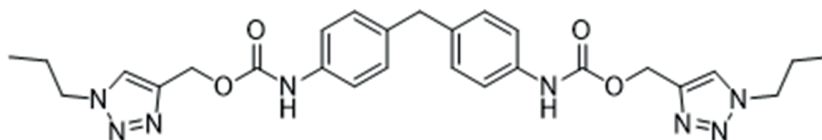
<sup>1</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1с2

<sup>2</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Профсоюзная 70 -

E-mail: kurbatov@polly.phys.msu.ru

Для ряда применений объектов, получаемых с помощью аддитивных технологий (3D-печати), используемые материалы должны обладать набором определенных свойств, обусловленных как методом изготовления изделия, так и его желаемыми механическими свойствами. В частности, для создания магнитополимерных композиций и печати на их основе мягких роботов, управляемых магнитным полем, были синтезированы блок-сополимерные матрицы на основе силоксановых и полиуретановых сегментов [1]. Показано, что изменение состава сополимера является эффективным методом управления механическими свойствами получаемого материала, и продемонстрирована возможность его использования в 3D-печати.

Для исследования особенностей микроструктуры и деталей межмолекулярного взаимодействия в системах с жесткими уретановыми сегментами в данной работе проведено компьютерное моделирование методом молекулярной динамики жесткой части, а именно модифицированного триазолом уретанового сегмента, с использованием полноатомной модели (Рисунок 1). Проведен подбор параметров моделирования на основе силового поля GROMOS, исследована микроструктура материала при различных стартовых упаковках молекул в NVT и NPT ансамблях при различных температурах. Исследовано распределение водородных связей (наиболее вероятные пары связанных атомов, длины и время жизни связей), а также итоговые конформации молекул.



**Рисунок 1.** Структура моделируемого соединения

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-43-00057, с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова

### Ссылки

[1] K.Bakanov, K.A. Bezlepina, K.S. Klokova, S.N. Ardabevskaia, et al. Polymer, 2024, submitted.

УДК 541.64

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФОНА С КАРДОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН

**Курданова Ж.И.<sup>1</sup>, Шахмурзова К.Т.<sup>1</sup>, Жанситов А.А.<sup>1</sup>, Раева А.Ю.<sup>1,2</sup>,  
Анохина Т.С.<sup>2</sup>, Борисов И.Л.<sup>1,2</sup>, Хаширова С.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Кабардино-Балкарский государственный университет  
им. Х.М. Бербекова, Нальчик, 360004, Чернышевского 173*

<sup>2</sup> *ИНХС РАН им. А.Д. Топчиева, г. Москва, 119991, Ленинский пр., д. 29  
E-mail: kurdanova09@mail.ru*

Полисульфоны широко используются в качестве материалов для изготовления мембран для ультрафильтрации, микрофильтрации и газоразделения, поскольку являются прозрачными и аморфными и обладают высокой химической и термической стабильностью, а также способностью к многократной стерилизации. Однако гидрофобность полисульфонов считается основным недостатком этого материала, так как гидрофобность поверхности является одним из факторов, способствующих загрязнению мембран. Для решения этой проблемы применяют различные методы модификации, такие как сульфирование, смешивание с более гидрофильным мембранообразующим полимером, введение наночастиц в формовочный раствор, прививка гидрофильных функциональных групп, таких как карбоксильные, эпоксидные и гидроксильные группы, введение в формовочный раствор гидрофильных и олигомерных добавок. Среди полисульфонов, наиболее высокими показателями термической, химической и гидролитической устойчивости, а также механической прочности обладает полифениленсульфон. Одним из предполагаемых решений проблем гидрофобности и растворимости полимера является введение в процессе поликонденсации в основную полимерную цепь жестких (кардовых) полярных мономеров.

В работе впервые были синтезированы сополимеры полифениленсульфона с кардовыми фрагментами фенолфталеина с гидроксильными концевыми группами для создания высокопроницаемых плоских ультрафильтрационных мембран. Изучены реологические, термические и механические свойства синтезированных кардовых сополимеров полифениленсульфона. Показано, что введение кардовых фрагментов в структуру полифениленсульфона приводит к увеличению растворимости в органических растворителях и снижению гидрофобности, а также способствует увеличению тепло- и термостойкости полифениленсульфона и повышению механических свойств.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 22-19-00711).

УДК 541.64

## РАСТВОРНАЯ ЕМКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ГИДРОГЕЛЕВЫХ ГРАНУЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАТА НАТРИЯ

**Курочкин С.А.<sup>1,2</sup>, Курочкин В.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1*

<sup>2</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, корп. 1*

<sup>3</sup> *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва, Миусская площадь, д. 9  
E-mail: oligo@icp.ac.ru*

Полимерные гидрогели широко используются в агропромышленном комплексе для увлажнения грунтов сельскохозяйственного назначения. При этом кроме увлажнения полимерные гидрогели могут использоваться как носители удобрений. Для этих целей представляют интерес полимерные гидрогели в форме крупных гранул, в том числе могут быть молекулярно-настроены на определенный вид органического загрязнителя [1]. Поскольку удобрения содержат в себе различные неорганические и органические вещества, являющиеся электролитами, то их концентрация в водных растворах может значительно изменять степень набухания полимерных гидрогелей и, соответственно, влиять на растворную емкость – количество помещающихся в них удобрений из раствора в набухом состоянии.

Исследовано набухание полимерных гидрогелевых гранул на основе полиакрилата натрия в дистиллированной воде и в водных растворах лимонной кислоты и комплексного удобрения. Исследованием кинетики набухания полимерных гидрогелевых гранул в дистиллированной воде установлено, что средняя максимальная степень набухания составляет 9130%, константа скорости набухания при комнатной температуре равна 0.00565 мин<sup>-1</sup>. Исследовано коллапсирование полимерных гидрогелевых гранул в водных растворах лимонной кислоты и комплексного удобрения разной концентрации. Установлена максимальная растворная емкость полимерных гидрогелевых гранул по отношению к лимонной кислоте и комплексному удобрению, содержание которого составляет 33 мас.%.

### **Благодарность**

Работа выполнена по теме Государственного задания (номер государственной регистрации 124013000722-8).

### **Ссылки**

[1] Kurmaz S.V. Mesoporous Networks of N-Vinylpyrrolidone with (di)Methacrylates as Precursors of Ecological Molecular Imprinted Polymers / S.V. Kurmaz, N.V. Fadeeva, A.I. Gorshkova, S.A. Kurochkin, E.I. Knerelman, G.I. Davydova, V.I. Torbov, N.N. Dremova, D.V. Konev, V.A. Kurmaz, V.M. Ignatiev, N.S. Emelyanova // Materials. – 2021. V. 14. – 6757.

УДК 541.64

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ РАЗВЕТВЛЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВЫСОКОРАЗВЕТВЛЕННОЙ ФРАКЦИИ

**Курочкин С.А.<sup>1,2</sup>, Перепелицина Е.О.<sup>1</sup>, Бубнова М.Л.<sup>1</sup>, Березин М.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, Черноголовка, пр. Академика Семенова, 1*

<sup>2</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, корп. 1*

*E-mail: oligo@icp.ac.ru*

Получено аналитическое уравнение для дискретно-непрерывной функции молекулярно-массового распределения разветвленных полимеров, образующихся при «живой» трехмерной радикальной полимеризации, которое позволяет прогнозировать молекулярно-массовое распределение полимерного продукта. На основе параметров растворимости Гильдебранда с учетом расхода мономера в смеси «мономер+осадитель» при полимеризации построены диаграммы, позволяющие оценить изменение степени сжатия макромолекулярных клубков в смешанном растворителе в результате ухудшения термодинамического качества среды, и установлены оптимальные условия проведения полимеризации, способствующие изоляции «подвешенных» двойных связей внутри сжимающихся макромолекулярных клубков (изолирующий эффект). Теоретически показано, что усиление изолирующего эффекта за счет ухудшения термодинамического качества среды приводит к получению полимерного продукта, обогащенного высокоразветвленной фракцией.

Предложенный подход к получению разветвленных полимеров с повышенным содержанием высокоразветвленной фракции экспериментально апробирован на примере радикальной сополимеризации стирола и дивинилбензола в присутствии 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксида, как агента «живой» полимеризации, в растворе *n*-бутанола. Создание условий проведения полимеризации в среде с термодинамически ухудшающимся качеством позволяет увеличить содержание высокоразветвленной фракции в два раза и более [1].

### Благодарность

Работа выполнена по теме Государственного задания (номер государственной регистрации 124013000722-8).

### Ссылки

[1] Kurochkin S.A. On the Absence of Cyclic Structures in Branched Polystyrenes Synthesized by Living Three-Dimensional Radical Polymerization in the Medium of a Deteriorating Thermodynamic Quality Solvent / S.A. Kurochkin, L.I. Makhonina, E.O. Perepelitsina, M.L. Bubnova, M.P. Berezin, V.P. Grachev // Polym. Sci. B. – 2023. V. 65. № 3. – P. 284.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ СШИВКИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

**Ларионов И.С.<sup>1,2</sup>, Балькаев Д.А.<sup>1</sup>, Зимин К.С.<sup>1,2</sup>, Антипин И.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> НИЛ Синтетические полимерные материалы и композиты, КФУ, Казань, Кремлевская 18

<sup>2</sup> Институт авиации, наземного транспорта и энергетики, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань, Карла Маркса 10

E-mail: [larionov\\_igor1999@mail.ru](mailto:larionov_igor1999@mail.ru)

Полифениленсульфид (ПФС) – суперконструкционный термопласт, необходимый для разработки наукоемких, усовершенствованных и сложных технологий. ПФС широко используется в автомобильной промышленности, в нефтехимическом и машиностроительном секторах, а также в электронной и электрической промышленности. ПФС является одним из материалов, который обладает многими выдающимися свойствами, такими как превосходная термическая стабильность, высокая механическая прочность и химическая стойкость. Суперконструкционные материалы и композиты на их основе обладают тем преимуществом, что даже при повышенных температурах и высоких нагрузках сохраняют свою стойкость и продолжают работать длительное время. При правильном выборе условий ПФС можно подвергнуть процессу «сшивки». Во время этой реакции происходит как удлинение полимерных цепей, так и их сшивание друг с другом.

В настоящей работе было проведено исследование влияния термической сшивки на реологические характеристики ПФС. Для этого были исследованы вязкости порошков ПФС после различной выдержки при высокой температуре, а также показатели текучести расплавов и их релаксация. Дополнительно проведено исследование теплофизических свойств порошков с разной степенью сшивки.

В работе использовались порошки ПФС предоставленные ООО «НТЦ «Ахмадуллины»», которые различное время выдерживались в воздушной среде при температуре 260 °С. Измерения реологических свойств проводились на капиллярном реометре Rosand RH2000 с диаметром капилляра 1 мм и высотой 16 мм. Также были измерены показатели текучести расплава (ПТР) образцов ПФС, сшитых в течении разного времени, на пластометре MFI 2322S с диаметром капилляра 2,095 мм, длиной капилляра 8 мм и при температуре 316 °С. Теплофизические свойства измерены на дифференциально сканирующем калориметре (ДСК) NETZSCH DSC214 Polyma со скоростью нагрева/охлаждения 10 °С/мин. По результатам исследования были построены график зависимости времени сшивки от ПТР, график релаксации напряжений расплавов с различным ПТР, график зависимости комплексной вязкости расплава от скорости сдвига, а также графики зависимости теплового потока ДСК от температуры.

УДК: 544.022.246

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРБОСИЛАНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД

**Литвин К.А.<sup>1</sup>, Курбатов А.О.<sup>1,2</sup>, Балабаев Н.К.<sup>3</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы 1с2

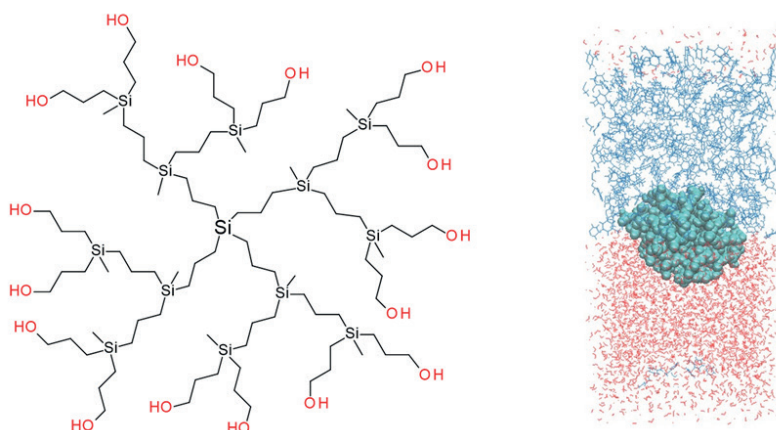
<sup>2</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Профсоюзная 70

<sup>3</sup> Институт математических проблем биологии РАН — филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пущино, Московская область, Россия

E-mail: litvin@polly.phys.msu.ru

Дендримеры в силу своего строения обладают большим количеством концевых групп, что создаёт большой потенциал для различных модификаций, в том числе модификации поверхности, придавая ей необходимые нам свойства. Одним из направлений в этой области является исследование конформационных изменений дендримеров в процессе адсорбции [1] и их поведения на межфазной границе [2].

В данной работе методом молекулярной динамики проведено моделирование одиночной молекулы амфифильного карбосиланового дендримера с четырехфункциональным ядром и трехфункциональными точками ветвления с гидроксильными концевыми внешними группами (рис. 1а). Было изучено конформационное поведение карбосилановых дендримеров в двухфазной системе (рис. 1б), которая представлена в виде воды (красный цвет) и толуола (бирюзовый цвет). Охарактеризованы конформационные изменения, профили плотности.



**Рисунок 1.** Схематическое изображение амфифильного карбосиланового дендримера второй генерации (а), снимок системы (б).

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-13-00158) с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова и Центра коллективного пользования ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

### Ссылки

[1] Kurbatov AO, Balabaev NK, Mazo MA, Kramarenko EY. Adsorption of Silicon-Containing Dendrimers: Effects of Chemical Composition, Structure, and Generation Number // *Polymers*. 2021, 13(4), 552.

[2] Sheiko, S. S.; Buzin, A. I.; Muzafarov, A. M.; Rebrov, E. A.; Getmanova, E. V. Spreading of Carbosilane Dendrimers at the Air/Water Interface // *Langmuir* 1998, 14 (26), 7468–7474.

УДК 547.794.3

## ПРОСТОЙ БЕЗМЕТАЛЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТИАЗОЛО[5,4-d] ТИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Лолаева А.В.<sup>1</sup>, Живчикова А.Н.<sup>1,2</sup>, Аккуратов А.В.<sup>1</sup>, Кузнецов И.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, 142432, Россия, Черноголовка, проспект акад. Семенова, д.1

<sup>2</sup>Сколковский институт науки и технологий, 143026, Россия, Москва, ул. Нобеля, д.3

E-mail: [alina.lolaewa@yandex.ru](mailto:alina.lolaewa@yandex.ru)

Введение блока тиазоло[5,4-d]тиазола в основную цепь сопряженных полимеров значительно улучшает характеристики оптоэлектронных и фотовольтаических устройств на их основе [1]. Основные методы получения сопряженных полимеров, реакции кросс-сочетания Сузуки и Стилле, имеют ряд недостатков таких, как использование катализаторов на основе палладия, а также дорогих, малостабильных и токсичных прекурсоров. В данной работе был получен новый полимер тремя способами – классическими реакциями кросс-сочетания Сузуки (**PCBTTz-Sz**), Стилле (**PCBTTz-St**) и альтернативной простой безметалльной конденсацией гетероароматических диальдегидов и дитиокасида (**PCBTTz-C**, Рис.1). Сравнительное исследование трех полимеров в качестве дырочно-транспортных материалов в перовскитных солнечных батареях показало, что полимер **PCBTTz-C**, полученный альтернативным путем, обеспечивает высокие характеристики устройств. Факторы заполнения ячеек достигают до 70%, что говорит о хороших полупроводниковых свойствах полимера. Таким образом, данный подход имеет большой потенциал для разработки перспективных фотоактивных полимеров.

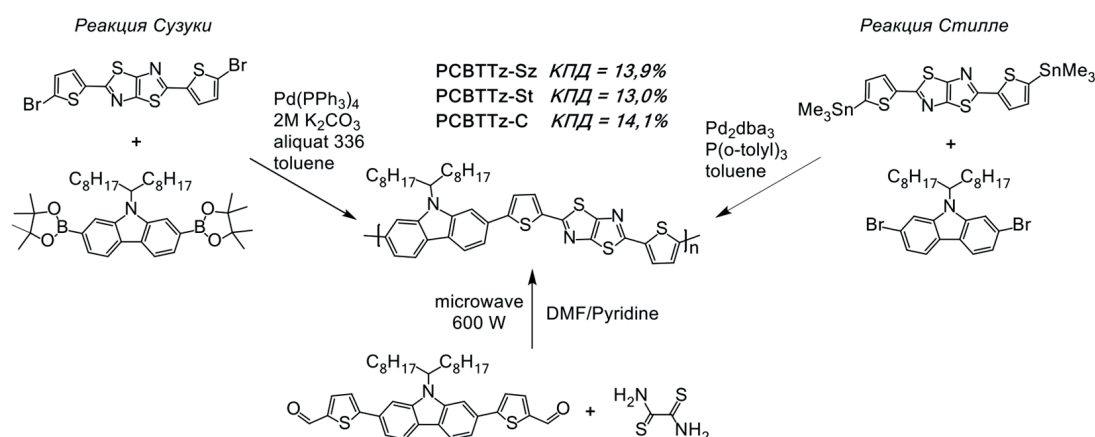


Рисунок 1. Синтез полимеров **PCBTTz-Sz**, **PCBTTz-St**, **PCBTTz-C**.

### Благодарность

Характеризация полимеров выполнена в рамках государственного задания № 122111700041-8 (FFSG-2022-0004).

### Ссылки

[1] Nikitenko S. L., Proshin P. I., Kuznetsov I. E., Karpov S. V., Anokhin D.V., Ivanov D. A., Troshin P. A., Akkuratov A. V. // Solar Energy – 2022. V. 232. – P. 12-17.

УДК 541.64:547.995

## МЕХАНИЗМЫ ДИССИПАТИВНЫХ ПОТЕРЬ В АМИННЫХ ОТВЕРДИТЕЛЯХ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

**Ломовская Н.Ю., Чугунов Ю.В., Шатохина С.А.**

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина,  
Ленинский пр. 31 к.4, Москва 119071, Россия  
e-mail: Lomovskoy@phychе.ac.ru*

Приведены спектры внутреннего трения  $\lambda = f(T)$  и температурной зависимости частоты  $\nu = f(T)$  свободно затухающего колебательного процесса, возбуждаемого в аминных отвердителях эпоксидных олигомеров (на примере триэтилентетрамин, ТЭТА) в интервалах температур от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+110^{\circ}\text{C}$  (рис.1), снятые на горизонтальном крутильном маятнике [1].

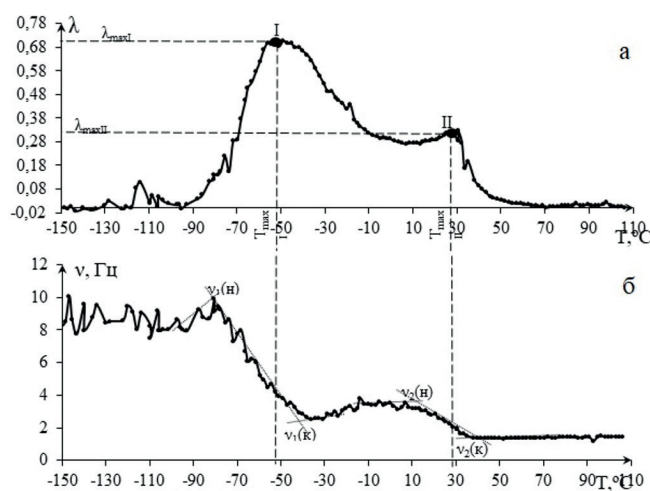


Рис. 1. Температурные зависимости логарифмического декремента  $\lambda$  (а) и частоты (б) свободно затухающих колебаний ТЭТА

В исследуемом температурном интервале эти системы находятся, как в твердом так и жидком агрегатных состояниях. Установлено, что на спектрах  $\lambda = f(T)$  наблюдается два локальных диссипативных процесса различной интенсивности расположенных в различных интервалах температур I и II (рис. 1а).

Наиболее интенсивный процесс находится в интервале температур размягчения отвердителей (от  $-80$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ ), а менее интенсивный находится в интервале температур жидкого агрегатного состояния отвердителей (от  $10$  до  $40^{\circ}\text{C}$ ). Каждому локальному диссипативному процессу, соответствует определенная аномалия в температурной зависимости частоты колебаний  $\nu = f(T)$ , а следовательно, и модуля сдвига  $G = f(T)$ , что и приводит к локальной по температуре области неупругости исследуемой системы (рис.1б).

### Ссылки

[1] Ломовской В.А. Устройство для исследования локальных диссипативных процессов в твердых материалах различной химической природы, строения и структуры. // Научное приборостроение 2019. Т.29. №1. С.33-46.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ НАНООРГАНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ

Соколова Л.В., [Лосев А.В.](#)*МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва.**E-mail: losevandrey95@mail.ru*

Во время синтеза полимеров формируется их nanoорганизация в той или иной степени в зависимости от условий его проведения и химического строения макромолекул, т.е. упорядоченно построенные образования и проходные цепи, соединяющие их в единую систему. Nanoорганизация полимеров – фазовое состояние и перестраивается с четкой периодичностью при множественных фазовых  $\rho'$  переходах выше температуры их размягчения ( $T_c$ ) не зависимо от химического строения макромолекул [1–3]. Температурный интервал nanoорганизации полимеров определяется, в первую очередь, кинетической гибкостью макромолекул и молекулярной массой [1, 4].

Дифрактограмма *цис*-1,4-полиизопрена (ПИ) наряду с аморфным гало содержит рефлекс небольшой интенсивности с максимумом при  $2\theta = 10.5^\circ$ . Рефлексы от упорядоченных образований размером 2 и ~10 нм присутствуют на дифрактограммах полистирола (ПС) и бутылкаучука (БК) соответственно. Однако на дифрактограмме ПИБ рефлекс отсутствует несмотря на одинаковую мольную энергию когезии и  $T_c$  для этих полимеров, кроме ПС. Согласно данным МУРР, по три разных вида nanoобразований формируются в БК и ПИ, но их структурные параметры изменяются неодинаково, в частности, при фазовом переходе  $\rho'_6$  при  $130^\circ\text{C}$ , т.е. выше их  $T_c$  на ~200°. Один вид nanoобразований обнаружен в ПИБ, но два в ПС с помощью МУРР. Наиболее резко увеличивается размер nanoобразований в полибутадиеновом каучуке СКБ (до 80 нм) при фазовом переходе  $\rho'_5$  при  $132^\circ\text{C}$ . На дифрактограммах РСА в области больших углов фторсополимеров: двойных (СКФ-26 и Элафтор 1000Р) и тройных (ФПМ-260LT, Viton GFLT 200 S и Viton GFLT 600S) присутствует рефлекс разной интенсивности с максимумом при  $2\theta \sim 17^\circ$ , обусловленный nanoобразованиями с разными структурными параметрами, которые сформировались во время их синтеза. Характер дифрактограмм РСА в области малых и больших углов фторсополимеров изменяется неодинаково при множественных фазовых переходах в них. Установлено, что у nanoорганизации ПИ, БК, ПС, СКФ-26 и ФПМ-260LT два уровня порядка или, другими словами, в этих полимерах формируются первичная и вторичная структуры в зависимости от предыстории полимеров.

**Ссылки**

- [1] Соколова Л.В. *Особенности высокотемпературных переходов в полимерах* // Пластич. массы – 2006. – № 5. – С. 13-25.
- [2] Соколова Л.В., Евреинов Ю.В. *Влияние высокотемпературных переходов на дефор-мируемость ряда гибкоцепных полимеров* // Высокомол. соед. – 1993. – Т. 35. – № 5. – С. 244.
- [3] Соколова Л.В. *Гибкость макромолекул и структурообразование в аморфных полимерах* // Высокомол. соед. А. – 2017. – Т. 59. – № 4. – С. 318-330.
- [4] Соколова Л.В. *Исследование структурных переходов *цис*-1,4-полиизопрена* // Высокомолек. соед. А. – 1987. – Т. 29. – № 8. – С. 1731-1736.

УДК 544.777 : 544.015.22

## СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Луговицкая Т.Н., Данилин Л.М., Мартынова К.А., Рогожников Д.А.

*Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
E-mail: t.n.lugovitskaia@urfu.ru*

Приоритетным направлением науки и технологии является индустрия наносистем и материалов. Это направление включает разработку и исследование свойств наноразмерных архитектур, в том числе супрамолекулярных систем, состоящих из молекул, связанных в единую систему относительно слабыми межмолекулярными взаимодействиями. В свою очередь супрамолекулярные архитектуры являются основой для получения более эффективных, функциональных и экономически выгодных материалов для широкого спектра приложений. К таким системам можно отнести растворы биополимеров, в частности лигносульфонаты (ЛС).

ЛС – ароматический трехмерный аморфный полимер, характеризующийся широким молекулярно-массовым распределением, полифункциональностью (фенольные гидроксильные, метоксильные, карбонильные и сульфоновые группы) и полидисперсностью. Наличие в макромолекулярной системе ЛС гидрофобных и гидрофильных доменов обуславливает их склонность к самосборке. Самосборка осуществляется посредством специфических кулоновских, ион-дипольных, гидрофобных взаимодействий,  $\pi$ - $\pi$ -стекинга, водородных связей с образованием наноструктур разной морфологии: сферы, полимерсомы, стержни и др. Размер и морфология наноструктур ЛС определяется природой органического осадителя (ацетон, этанол, глицерин, этиленгликоль и т.д.), вводимого в систему ЛС – вода.

При использовании ацетона были получены везикулярные структуры или полимерсомы ЛС. Размер полимерсом контролируется молекулярной массой (46.300 - 60.000 Да), концентрацией ЛС ( $C_{\text{ЛС}}$  0.40 - 5.0 г/дм<sup>3</sup>) и содержанием ацетона ( $\varphi_{\text{Ac}}$  0.1 - 30.0 об. %) в суспензии. Полученные полимерсомы характеризуются размером 200 - 350 нм, индексом полидисперсности 0.25 - 0.18 и  $\zeta$ -потенциалом, равным  $-12.3 - -21.0 \pm 2.2$  мВ. Размер воздушно-сухих порошков полимерсом, выделенных из соответствующих суспензий составляет 40 - 300 нм. Полимерсомы проявляют способность к солюбилизации гидрофобного красителя судана III, которая закономерно возрастает с увеличением концентрации полимерсом в суспензии.

Полученные супрамолекулярные структуры (полимерсомы) ЛС могут найти широкое применение в области катализа, медицины, металлургической и строительной, пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-29-00105 <https://rscf.ru/project/24-29-00105/>.



УДК 544.16

## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОФАЗНОГО РАССЛОЕНИЯ В РАСПЛАВАХ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ СОПОЛИМЕРОВ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ БОКОВЫМИ ЦЕПЯМИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Макаров В.В., Гумеров Р.А., Потемкин И.И.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: v\_makarov@polly.phys.msu.ru*

Гребнеобразные сополимеры — класс высокомолекулярных соединений, представляющих собой длинные полимерные цепи, называемые остовом, с привитыми боковыми цепями. Как правило, боковые цепи отличаются по своему химическому составу от остова, а также могут различаться между собой или быть сополимерами. В случае сверхвысокой плотности пришивки, когда боковые цепи привиты практически ко всем звеньям остова, полученные т.н. молекулярные щетки будут приобретать сильно вытянутую конформацию в растворе. В то же время, при наличии химической несовместимости между боковыми цепями разного сорта, в расплавах таких макромолекул будет наблюдаться микрофазное расслоение. При этом наноструктура таких расплавов может сильно отличаться от структур расплавов линейных диблок-сополимеров аналогичной композиции [1].

В настоящей работе методом компьютерного моделирования были изучены расплавы молекулярных щеток с чередующимися боковыми цепями разных сортов. Было изучено влияние длины остова, длины пришивок каждого из сортов, их долей от общего числа боковых цепей, а также степени совместимости цепей между собой. Были получены следующие морфологии: сферическая, червеобразная, цилиндрическая, биконтинуальная, перфорированная ламеллярная и ламеллярная. Полученные зависимости морфологий от архитектуры макромолекул были представлены в виде диаграмм состояния. Для количественного анализа полученных структур были проведены вычисления статического структурного фактора. Наконец, было проведено сравнение построенных диаграмм с диаграммами линейных сополимеров.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-43-04417. Моделирование проводилось на суперкомпьютере Ломоносов-2 суперкомпьютерного комплекса Московского Государственного Университета.

### **Ссылки**

[1] Runze Liu et al. Experimental and Computational Evaluation of Self-Assembled Morphologies in Diblock Janus Bottlebrush Copolymers // *Nano Letters*. - 2023. - Vol. 23 (1). - P. 177-182.

УДК 541.64:539

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛЁНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ПОЛИСАХАРИДОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

**Макаров М.Ю., Русинова Е.В.**

*Уральский Федеральный Университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, ул. Мира 19  
E-mail: matttveimakarov@mail.ru*

Композиционные материалы на основе поливинилового спирта (ПВС) широко используются в качестве упаковочных плёнок, мембран, основ для различных медицинских материалов. Внедрение агентов биоразложения, таких как крахмал и хитозан может помочь решить острые экологические проблемы. Перспективность данных материалов в качестве медицинских обусловлена возможностью включения различных компонентов в полимерную матрицу, а также биосовместимостью хитозана и его антибактериальными свойствами за счет активизации деятельности макрофагов и его возможности переносить лекарственные препараты. Механические, оптические, сорбционные и другие свойства композиционных полимерных пленок могут быть целенаправленно изменены при формировании их в магнитном поле. В этой связи целью работы явилось исследование влияния магнитного поля на свойства композиционных пленок. Объектами исследования явились промышленные образцы ПВС (степень деацетилирования 90%), хитозана, этилцеллюлозы (ЭЦ) и цианэтилцеллюлозы (ЦЭЦ). Пленки получали методом полива из растворов на полипропиленовую подложку. Исследования влияния магнитного поля проводили в специально-сконструированной ячейке. Методами оптической микроскопии и измерения мутности показано формирование анизотропной структуры в пленках ЭЦ и ЦЭЦ в магнитном поле, при этом более масштабная ассоциативная структура наблюдается в растворах ЭЦ. Получены деформационные кривые пленок, сформированных в условиях магнитного поля (3,7 кЭ) и вне его. Обнаружен масштабный эффект: возрастание разрывного напряжения пленок с уменьшением их толщины в диапазоне 150-20 мкм. Показано, что разрывное напряжение пленок ЦЭЦ, полученных в магнитном поле, меньше такового для пленок, полученных вне поля. Для пленок ЭЦ существенных изменений механических свойств, вызванных их получением в магнитном поле с напряженностью 3,62 кЭ не обнаружено. Предложена трактовка совокупности полученных экспериментальных данных.

УДК 54.061

## ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРЕТНОГО МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НИТРАТА И ПЕРХЛОРАТА НИКЕЛЯ(II) С НЕКОТОРЫМИ АМИДАМИ

**Малушко Е.Б., Караваев И.А., Фомичев В.В., Савинкина Е.В.**

*МИРЭА-Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий  
имени М.В. Ломоносова), Москва, Россия, пр-т Вернадского, 86  
E-mail: malushko2003@mail.ru*

Полимерные электреты находят широкое применение в различных областях науки и техники: (микро)электронике, электроакустике, биологии и медицине, что связано с их несомненными достоинствами, а именно, высокой квазипьезоэлектрической чувствительностью, большим временем жизни, экономичностью изготовления и др. [1]. Одной из перспективных задач при изготовлении электретных полимерных пленок состоит в увеличении эффективной плотности заряда и увеличении времени жизни электретного состояния. Это может быть достигнуто путем введения в полимерную матрицу координационных соединений некоторых переходных металлов.

В настоящей работе были получены новые полимерные электретные материалы путем интеркаляции новых ранее неизученных координационных соединений  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{AA})_4](\text{NO}_3)_2$ ,  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{DMF})_4](\text{ClO}_4)_2$ ,  $[\text{Ni}(\text{AA})_6](\text{ClO}_4)_2$ . Синтез комплексов осуществляли из водных растворов изотермическим выпариванием.

Химический и фазовый состав, кристаллическая и молекулярная структуры выделенных координационных соединений были подтверждены совокупностью методов анализа, а именно элементный анализ, ICP-MS, РФА, ИК-спектроскопия, РСА, термический анализ (ТГ-ДСК).

Результаты интеркалирования новых координационных соединений в полимерную диацетат целлюлозную пленку показало значительное улучшение качества тонкопленочного электрета. Внедренные в полимерную пленку дипольные молекулы металлокомплекса вызывают появление на температурных зависимостях диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, а также токов термостимулированной деполяризации модифицированных пленок дополнительных максимумов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения описанного метода для получения новых электретных материалов.

### Ссылки

[1] Savinkina E.V., Efimova N.A., Grigoriev M.S., Davydova M.N., Fomichev V.V., Ageeva T.A. Complexes of zinc halides with amide ligands having a high dipole moment // J. Coord. Chem. 2022. V. 75. N 3–4. P. 362–371. <https://doi.org/10.1080/00958972.2022.2054704>

УДК 544.012

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ДИБЛОК-СОПОЛИМЕРА И ДВУМЕРНЫХ НАНОЧАСТИЦ

**Малышев М. Д., Комаров П. В.**

*Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН,  
Москва, Вавилова 28  
E-mail: md\_malyshev@mail.ru*

В настоящее время для улучшения свойств полимеров часто используются различные неорганические наполнители в виде наночастиц (НЧ). Наиболее перспективными наполнителями считаются природные алюмосиликаты, графен, MXene и слоистые двойные гидроксиды, которые благодаря огромной площади поверхности, обусловленной их двумерной формой, обладают превосходными физическими свойствами и механической гибкостью. Однако, из-за высокой поверхностной энергии двумерные НЧ склонны к образованию крупных агрегатов, что приводит к ухудшению свойств получаемых наноккомпозитов. В этой связи при разработке полимерных материалов с уникальными свойствами предельно важным является контроль за пространственным распределением наполнителя в полимерной матрице.

В данной работе обсуждаются результаты мезомасштабного моделирования наноккомпозита на основе симметричного диблок-сополимера и двумерных НЧ. Мы исследовали влияние совместимости компонентов системы на упорядочение НЧ. При этом размер НЧ превышает период ламеллярных доменов, образующихся в результате микрофазного разделения блоков сополимера. Для упрощения задачи основные расчеты выполнялись для системы с одной НЧ. Установлено, что в режиме хорошей или плохой совместимости между НЧ и блоками сополимера плоскость НЧ ориентируется перпендикулярно доменам. В случае сильной термодинамической несовместимости с одним из блоков НЧ ориентируется параллельно плоскости доменов полимерной матрицы. При этом НЧ встраивается в домен, образованный блоками, с которыми она имеет наибольшую совместимость. Достоверность наблюдаемого эффекта упорядочения двумерных НЧ в зависимости от совместимости компонентов была подтверждена дополнительными расчетами для систем с двумя и четырьмя НЧ. Также установлено, что увеличение объемной доли наполнителя, в случае селективного взаимодействия с сополимером, снижает порог микрофазного разделения. Результаты данного исследования могут быть полезны при разработке полимерных материалов с переключаемыми свойствами такими как прозрачность и газопроницаемость.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М. В. Ломоносова.

УДК 544.02

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИЭФИРОВ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА****Масленникова Д.А.<sup>1</sup>, Якубова Л.Ю.<sup>1</sup>, Подзорова М.В.<sup>1,2</sup>, Тертышная Ю.В.<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> *Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва,  
115054, Стремянный пер., д. 36*<sup>2</sup> *Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
Москва, 119334, ул. Косыгина, д.4  
E-mail: mariapdz@mail.ru*

Полилактид (ПЛА) является алифатическим полиэфиром и в последнее время становится одним из наиболее перспективных термопластичных биоразлагаемых полимеров, который может быть получен из возобновляемых ресурсов. ПЛА обладает высоким модулем упругости и прочностью, хорошей прозрачностью и барьерными свойствами. Эти свойства делают ПЛА подходящим кандидатом для использования в товарах и оборудовании для замены некоторых традиционных синтетических полимеров. Однако существуют недостатки, которые ограничивают его производство и использование в некоторых областях применения. ПЛА является гидрофобным и характеризуется хрупкостью, низкой температурой разложения и медленной скоростью кристаллизации, что снижает его технологичность, формуемость и вспенивание. ПЛА уже нашел широкое применение в текстильной промышленности, упаковке пищевых продуктов и медицине. В связи с особенностями ПЛА разработано большое количество композитов на его основе [1-3]. К сожалению, большинство полимеров практически не смешиваются, и наличие межфазных взаимодействий между компонентами смеси играет важную роль в структуре и свойствах. Типичная морфология смесей полимер–полимер включает каплеобразные и двойные эмульсионные, ламинарные, фибриллярные, непрерывные или упорядоченные структуры.

В данной работе исследована структура и проанализированы свойства смесей на основе полилактида с добавкой натурального каучука и поликапролактона. Эластомерные матрицы обычно используются в качестве второй фазы для повышения ударной вязкости хрупких материалов. Их добавка изменяет не только структуру, но и свойства, в том числе механические, делая материал более гибким. Добавка поликапролактона также отражается на характеристиках материала. В литературе отмечается, что при добавлении до 30 мас.% ПКЛ морфология представляет собой диспергированные капли ПКЛ в матрице ПЛА [4].

**Ссылки**

[1] Botlhoko O.J., Ramontja J., Ray S.S. // Polym. Degr. Stab. – 2018. – V. 154. – P. 84–95.

[2] Noroozi N., Schafer L.L., Hatzikiriakos S.G. // Polymer Eng. Sci. – 2012. – V. 52. – P. 2348–2359.

[3] Tertyshnaya Y.V., Podzorova M.V., Khramkova A.V., Ovchinnikov V.A., Krivandin A.V. // Polymers. – 2023. – V. 15. – P. 1930.

[4] Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Мамин Э.А., Михайлова М.Е., Якубова Л.Ю. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2024. – № 2. – С. 21-26.

УДК 541.64:539.199

**СТАБИЛЬНЫЕ МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЦИС-РЕГУЛЯРНОГО ПОЛИ(1-ТРИМЕТИЛСИЛИЛ-1-ПРОПИНА)****Матсон С.М., Коссов А.А., Макрушин В.П., Сырцова Д.А.**

*ФГБУН Институт нефтехимического синтеза  
им. А. В. Топчиева РАН, г. Москва, Ленинский проспект, 29  
E-mail: matson@ips.ac.ru*

Поли(1-триметилсилил-1-пропин) [ПТМСП] обладает рекордно высокими параметрами газо- и паро-проницаемости, которые являются результатом структуры и высокой доли свободного объема этого жесткоцепного полимера. Для ПТМСП, характерно довольно сильное физическое старение, т.е. снижение доли свободного объема полимера и значительное снижение проницаемости с течением времени. ПТМСП, обычно синтезируемый с использованием каталитических систем на основе пентахлоридов Nb и Ta, имеет смешанный *цис-/транс*-состав звеньев. Ранее было показано, что свойства ПТМСП смешанного конфигурационного состава могут несколько различаться в зависимости от катализатора полимеризации. В настоящей работе было исследовано влияние стереорегулярности ПТМСП, полученных с использованием новых каталитических систем, на изменение газопроницаемости полимерных пленок с течением времени. Показано, что *цис*-регулярный ПТМСП подвержен наименьшей скорости падения проницаемости, что может быть связано с регулярной структурой и жесткостью макромолекул этого образца, которые ограничивают сегментальную подвижность и снижают скорость старения. Для ПТМСП разных конфигурационных составов было исследовано влияния добавления в пленки антиоксиданта Irganox 1076, показавшего эффективность для повышения термо-окислительной стабильности ПТМСП. Добавление Irganox 1076 к ПТМСП смешанного конфигурационного состава заметно замедляет старение и уровень проницаемости состаренных пленок со стабилизатором выше уровня проницаемости пленок чистого ПТМСП. В случае *цис*-регулярных ПТМСП с медленной скоростью старения введение антиоксиданта не дает преимуществ. Высокая стабильность *цис*-регулярных ПТМСП демонстрирует возможность получения устойчивых мембранных материалов с наиболее равновесным состоянием полимерного селективного слоя по сравнению с полимерами менее регулярной структуры.

**Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-13-00334-П).



УДК 547.514.72

## АЦИКЛИЧЕСКИЕ ДИАМИНОКАРБЕНОВЫЕ Pd-КОМПЛЕКСЫ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ АДДИТИВНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ НОРБОРНЕНА

**Меденцева Е.И.<sup>1</sup>, Хрычкова А.П.<sup>1</sup>, Бермешева Е.В.<sup>1</sup>, Кинжалов М.А.<sup>2</sup>, Бермешев М.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва, Россия*

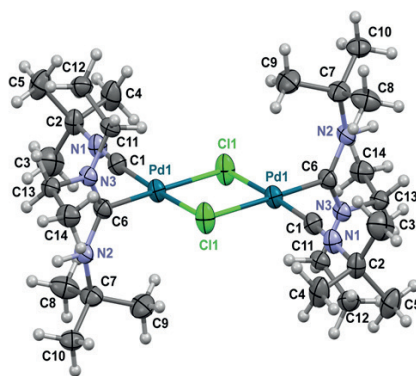
<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: e.med@ips.ac.ru*

Норборнен способен полимеризоваться по нескольким схемам, что приводит к образованию продуктов с различными свойствами. Так, полимеры, полученные по аддитивному механизму, обладают повышенной термостойкостью, что делает их привлекательными для многих применений, а их синтез – весьма актуальной задачей. При этом повышенный интерес представляет получение именно функциональных производных, поскольку с помощью боковых групп можно в значительной мере управлять свойствами образующихся продуктов. Такие аддитивные замещенные полинорборнены можно получить с помощью нескольких подходов, предполагает разработку каталитических систем, которые бы являлись высокоактивными, селективными и толерантными к различным функциональным группам мономеров.

Ранее нам удалось синтезировать однокомпонентные палладиевые комплексы, содержащие N-гетероциклические карбеновые лиганды, которые отвечают всем критериям, указанным выше [1]. При этом было обнаружено, что строение комплексов оказывает значительное влияние на их каталитическую активность. В данной работе будут представлены результаты по исследованию каталитической активности в аддитивной полимеризации родственных Pd-комплексов, содержащих ациклические диаминокарбеновые лиганды.



**Рисунок 1.** Структура одного из полученных комплексов по данным РСА.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-497.2022.1.3 (Соглашение №075-15-2022-359 от 05.05.22).

### Ссылки

[1] Bermesheva E. V. et al. Air-Stable Single-Component Pd-Catalysts for Vinyl-Addition Polymerization of Functionalized Norbornenes // *ACS Catalysis*. 2022. Т. 12. С. 15076-15090.

УДК 541.64:547.551

## ДЫРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ПОИАНИЛИНА С ПОЛИСУЛЬФОКИСЛОТАМИ ДЛЯ ПЛЁНОЧНЫХ ФОТОДЕТЕКТОРОВ

**Мельникова Е.И.<sup>1,2</sup>, Грибкова О.Л.<sup>1</sup>, Кабанова В.А.<sup>1</sup>, Тверской В.А.<sup>2</sup>, Тамеев А.Р.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,  
Москва, Россия, Ленинский пр-т, 31 к.4*

*<sup>2</sup>«МИРЭА-Российский технологический университет» Институт тонких химических технологий им.  
М.В. Ломоносова, Москва, пр. Вернадского, 86  
E-mail: catia.melnickowa2017@yandex.ru*

Целью работы является разработка дырочно-транспортных слоёв (ДТС) для фотодетекторов на основе комплексов полианилина (ПАНИ) с полимерными сульфокислотами различного строения.

Среди проводящих полимеров ПАНИ выделяется комплексом ценных свойств, благодаря которым он находит широкое применение в различных областях науки и техники. Преимуществом получения ПАНИ в присутствии полимерных кислот является растворимость получаемых комплексов в воде, что делает синтез и дальнейшее применение ПАНИ более экологичным процессом. Варьируя условия проведения синтеза и структуру поликислоты можно получить интерполимерные комплексы ПАНИ с полимерными кислотами с различными свойствами и строением.

**ПАНИ был получен** методом окислительной полимеризации анилина в присутствии полисульфокислот различного строения. В первом случае использовали гибкоцепную поликислоту – поли-2-акриламидо-2-метил-1-пропансульфокислоту (ПАМПСК) различной молекулярной массы, а во втором случае использовали жёсткоцепную поликислоту – поли-4,4'-(2,2'-дисульфокислоту)дифенилентерфаламида (тере-ПАСК), изменяя соотношение мономера к сульфокислотным группам поликислоты. Было обнаружено, что структура и молекулярная масса поликислоты влияют как на кинетику синтеза, так и на структуру полученных слоёв из полимерных комплексов.

ДТС на основе комплексов ПАНИ, полученные масштабируемым методом пульверизации, были использованы в фотодетекторах с фотоактивным слоем металлоорганического соединения  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  перовскитной структуры. Было изучено влияние состава комплекса полимер-полисульфокислота на характеристики устройства. Результаты исследования показали перспективность применения полученных полимерных комплексов в качестве ДТС в перовскитных фотодетекторах.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект №РНФ-23-19-00884) и Минобрнауки России (тема ИФХЭ РАН №122011300052-1).

УДК 541.68.

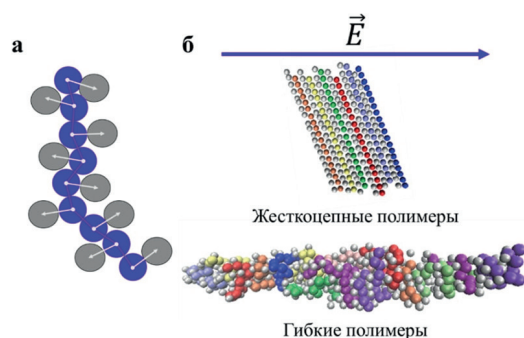
## АГРЕГАЦИЯ ДИПОЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Мерзлякова Т.Ю.<sup>1</sup>, Гордиевская Ю.Д.<sup>1</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия*  
E-mail: merzlyakova@polly.phys.msu.ru

Методом молекулярной динамики исследуется агрегация полимерных цепей с полярными группами в растворе при воздействии внешнего электрического поля. Каждая полярная группа представляет собой пару, состоящую из заряженного звена основной цепи и противоположно заряженной боковой группы (Рис. 1а). При приложении электрического поля данные системы способны значительно изменять внутреннее строение, и свойства, что может быть перспективно для практического применения. В работе было показано, что при приложении внешнего электрического поля в разбавленном растворе гибких дипольных цепей можно вызывать их кластеризацию, приводящую к формированию агрегата, вытянутого вдоль направления вектора напряженности; в случае жестких полимеров наблюдается образование агрегатов с упорядочением (Рис. 1б). Изучена структура агрегатов в зависимости от величины электрического поля, полярности растворителя и жесткости полимера, определены критические значения поля и параметра электростатических взаимодействий, при которых происходит агрегирование.



**Рисунок 1.** а) Структура одиночной полимерной цепи с полярными группами, серым показаны боковые группы, разным цветом - звенья основной цепи разных макромолекул.  
б) Мгновенные снимки агрегатов, образующихся в растворе полимерных цепей при воздействии внешнего электрического поля  $E$

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект РНФ №21-73-30030), с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова. Мерзлякова Т.Ю. благодарит Фонд развития теоретической физики Базис.

УДК 541.64 :678.074:691.175.746:678.762.3

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ЛИНЕЙНЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И ИЗОПРЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КОМПОЗИЦИИ

**Микушева Н.Г.<sup>1</sup>, Перевязко И.Ю.<sup>1</sup>, Барент Р.Д.<sup>2</sup>, Фрей Х.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Johannes Gutenberg-University,  
55128 Майнц, Германия, Дюсбергвег 10-14  
E-mail: n.mikusheva@spbu.ru

Сополимеры стирола и изопрена относятся к классу термопластичных эластомеров и обладают особыми свойствами, обусловленными наличием как жестких, так и гибких участков полимерной цепи. Архитектура цепи и особенности чередования звеньев сополимера позволяют существенно влиять на механические свойства получаемого материала, его способность к плавлению и восстановлению структуры после нагрева. Последний аспект является важным не только в вопросах использования, но и при рассмотрении возможности переработки.

Конечные свойства термопластичного эластомера в мультимодальных сополимерах на основе изопрена и стирола, зависят от архитектуры цепи (общая молярная масса, количество блоков, профиль состава). При этом сополимеры, имеющие на концах цепи стирольные блоки, достаточно хорошо изучены и широко используются. В данной работе изучены мультимодальные сополимеры (блок- и градиентные), обладающие двумя гибкими полиизопреновыми концевыми блоками, представленные в широком диапазоне молекулярных масс и широком диапазоне варьирования количества звеньев.

Обнаружены заметное качественное изменение температурного поведения таких структур в зависимости от параметров композиции полимерной цепи и возможность получения материалов с достаточно низкой температурой плавления.

В то же время, реология является чувствительным методом определения переходов от упорядоченной к разупорядоченной фазе и переходов между различными упорядоченными морфологиями. Сравнивая данные с результатами исследования морфологии методом малоуглового нейтронного рассеяния, можно делать обоснованные выводы о наличии структурных переходов в представленных образцах.

### Благодарность

Авторы благодарны за техническое содействие Ресурсному центру «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники» Научного парка СПбГУ и Санкт-Петербургскому государственному университету за поддержку инициативного проекта.

### Ссылки

[1] Linear (IS)nI Multiblock Copolymers: Tailoring the Softness of Thermoplastic Elastomers by Flexible Polyisoprene End Blocks / R. D. Barent, I. Perevyazko, N. Mikusheva, G. Floudas, and H. Frey // *Macromolecules* 2023, 56, 15, 5792-5802. DOI: 10.1021/acs.macromol.3c00513

УДК 541.68

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ЩЁТОК ИЗ ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ

**Михайлов И.В.<sup>1</sup>, Лукиев И.В.<sup>2</sup> Борисов О.В.<sup>1,2</sup>., Жулина Е.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук, Россия, г. Санкт-Петербург, Большой проспект Васильевского острова, 31, 199004*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский университет ИТМО, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, 49, лит. А, 197101*

*E-mail: georg\_ot@mail.ru*

Полимерные щётки — нанослои, состоящие из полимерных цепей, одним концом химически привитых к непроницаемой поверхности. Модификация различных поверхностей за счёт покрытия полимерными щётками позволяет значительно улучшить их трибологические свойства, снижая трение между поверхностями на несколько порядков. В качестве привитых цепей могут выступать не только цепи линейного строения, но также и разветвлённые, в частности, гребнеобразные макромолекулы. Взаимодействие полимерных щёток, и, как следствие, возникающее между ними трение можно регулировать варьируя архитектуру прививаемых полимеров.

Систематические теоретические исследования трибологических свойств полимерных щёток из гребнеобразных полимеров практически отсутствуют. Поэтому целью настоящей работы является изучение влияния степени разветвлённости привитых макромолекул на коэффициент трения взаимодействующих щёток.

Проведено численное моделирование полимерных систем, состоящей из плоских противоположно расположенных полимерных щёток, погружённых в низкомолекулярный растворитель. Варьировалась степень полимеризации, плотность прививки, качество растворителя и архитектура гребнеобразных молекул. В качестве инструмента исследования применялся одноградиентный численный метод Схойтенса-Флира в рамках крупнозернистой решеточной модели.

Показано, что при одинаковой степени полимеризации, плотности прививки и приложенном нормальном давлении с увеличением разветвлённости макромолекул уменьшается ширина зоны перекрывания щёток и сила трения, противодействующая латеральному сдвиговому напряжению. Данное качественное поведение сохраняется, как в условиях хорошего, так и в условиях плохого растворителя. Полученные результаты позволяют прогнозировать трибологические свойства полимерных щёток из гребнеобразных макромолекул.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23–13–00174.

УДК 539.199; 544.777

## ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ В ПОТОКЕ: БЛОК СОПОЛИМЕРЫ ГРАДИЕНТНОГО СТРОЕНИЯ ПОЛИСТИРОЛ-ИЗОПРЕН

**Михайлова М.Е.<sup>1</sup>, Перевязко И.Ю.<sup>1</sup>, Лезов А.А.<sup>1</sup>, Цветков Н.В.<sup>1</sup>, Ramona Varent<sup>2</sup>, Holger Frey<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Университетская наб. 7/9

<sup>2</sup>Institute of Organic Chemistry, Johannes Gutenberg-University,  
Duesbergweg 10-14, D-55099 Mainz, Germany  
E-mail: m.e.mikhailova@spbu.ru

Популярным направлением в создании полимерных материалов с требуемыми свойствами является использование блочного строения макромолекул. Варьирование длины блоков, состоящих из мономерных звеньев различной физико-химической природы, их числа и последовательности позволяет как провести более тонкую настройку свойств по сравнению со статистическими сополимерами, состоящими из этих же мономерных единиц, так и приводит к новым конформационным свойствам, обусловленным самоорганизацией блоков в растворителях имеющих различное сродство с мономерными звеньями сополимера [1]. Еще большие возможности тонкой настройки молекулярной конформации при варьировании внешних условий открывает использование блок-сополимеров с градиентным распределением мономерных звеньев внутри составляющих макромолекулу блоков [2].

Исследование проведено для двух серий уникальных образцов блочных полимеров поли(стирол-изопрен) с различным числом блоков (3, 5, 7) в тетрагидрофуране. Одна серия образцов состояла из блоков, сочетающих в себе мономерные звенья полистирола и изопрена, с резкой границей между ними; вторая – с градиентным переходом. Методом двойного лучепреломления в потоке [3] удалось показать, что по абсолютной величине значения собственных оптических коэффициентов сдвига для макромолекул с градиентными структурными блоками систематически ниже, чем для блочных структур. Это может быть связано с несколько большей асимметрией формы полимерного клубка, содержащего блочные структуры, для которых использованный растворитель является различным по термодинамическому качеству.

### Ссылки

- [1] Hamley I. Neutral Block Copolymers in Dilute Solution. In Block Copolymers in Solution: Fundamentals and Applications. – John Wiley & Sons, Ltd, 2005. –С. 7-91.  
[2] Alam, M. M. Gradient copolymers – Preparation, properties and practice/Alam, M. M.; Jack, K. S.; Hill, D. J. T.; Whittaker, A. K.; Peng, H.// Eur. Polym. J. – 2019. Vol. 116. –P. 394-414.  
[3] Tsvetkov V.N., Eskin V.E., Frenkel S.Y. Structure of macromolecules in solution. – National Lending Library for Science and Technology, Boston, 1971.



УДК 66.095.26.085

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ РАСТВОРЕННЫМ ПОЛИСУЛЬФОНОМ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИЕСЯ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ 3D-ПЕЧАТИ

**Мкртчян Ю.М., Сидоренко Н.В., Ваниев М.А.**

*ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия*  
*E-mail: m.sc.yuri@vstu.ru*

Известно, что возможно получение стабильных растворных реакционноспособных композиций с высокими концентрациями высокомолекулярных соединений (ВМС) и способных отверждаться в условиях УФ-иницируемой радикальной полимеризации. ВМС определенного строения значительно препятствуют фотополимеризации в слоях более 0,5-1 мм, однако позволяют получать материалы для покрытий с улучшенным комплексом свойств [1].

Предполагалось, что для обеспечения прецизионности печати могут быть пригодны ФПК, содержащие растворенный полисульфон (ПСФ). Использовали ПСФ марки ПСК-1 с улучшенной растворимостью, обусловленной более низкой молекулярной массой по сравнению с другими марками ПСФ.

Печать образцов осуществлялась на DLP 3D-принтере Minicube PRO (405 нм).

Обнаружены пределы совместимости олигомеров с ПСК-1 для получения технологичных композиций, а также оптимизированы параметры печати. Выявлен диапазон концентраций (0,5-3%) ПСК-1, обеспечивающих высокую детализацию при печати (рис.1) и получение материалов с прочностью при растяжении от 12,5 до 44 МПа; изгибающее напряжение при максимальной нагрузке повысилось от 43 до 82 МПа; деформационная теплостойкость (HDT) образцов увеличилась с 76 до 92 °С; твердость возросла с 80 до 91 усл. ед. по Шор Д.



**Рисунок 1.** Изображения стандартных кубиков, изготовленных методом DLP-печати для оценки детализации

1-3 – ФПК с ПСФ в качестве УФ-абсорберов, 4 – ФПК с традиционным УФ-абсорбером

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUS-2023-0007 на основании Соглашения № 075-03-2024-126 от 17.01.2024 с изменениями

### Ссылки

[1] Пат. 2394856 Российская Федерация, МПК С 08 L 55/00, С 08 F 2/48, С 08 G 75/20. Фотополимеризующая композиция / М.А. Ваниев, Н.В. Сидоренко, В.А. Лукасик, Л.Н. Белявцева, Л.И. Дурмиш-Оглы, И.А. Новаков; заявитель и патентообладатель «Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)». - № 2008151475/04 ; заявл. 12.24.2008 ; опубл. 20.7.2010.

УДК 544.03 41.64:539.199

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЯЧЕЙКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАДИУС РАМАМ ДЕНДРИМЕРА ВТОРОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Муратова А.Д., Комолкин А.В., Маркелов Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, д. 7–9  
E-mail: st087242@student.spbu.ru*

Дендримеры - макромолекулы с регулярными разветвлениями, обладающие уникальными свойствами, такими как сферическая форма, способность инкапсулировать лекарственные препараты и большое количество концевых групп. Как было показано в работах [1-2], вращательная диффузия карбосилановых дендримеров менее чувствительна к условиям моделирования, чем трансляционная диффузия. В особенности, это относится к размерам ячейки моделирования. Для корректно получения гидродинамического радиуса ( $R_h$ ) из трансляционной подвижности необходимо, чтобы ячейка была размером не менее  $8R_g$  ( $R_g$  – радиус инерции дендримера). В то время как  $R_h$ , полученный из вращательной подвижности дендримера, практически не зависит от размеров ячейки даже при  $4R_g$ . Целью данной работы является проверка выводов, полученных для карбосилановых дендримеров, для РАМАМ дендримера различных генераций ( $G=2-4$ ). А именно, изучение влияния размеров ячейки моделирования на поступательную и вращательную диффузию.

РАМАМ дендримеры в растворе метанола были промоделированы в пакете GROMACS в силовом поле OPLS с использованием полноатомистической модели макромолекулы и растворителя. Чтобы изучить влияние граничных условий использовались ячейки моделирования с линейно длиной от 4 до 12 нм. Каждая система уравновешивалась в течении 1 мкс. Затем моделирование продолжалось в течении 3 мкс для получения равновесной траектории. Во всех промоделированных системах  $R_g$  не зависел от размера ячейки моделирования и был близок к экспериментальным значениям [3] в пределах погрешности. Было установлено, что в случае РАМАМ дендримеров, гидродинамический радиус, полученный в результате анализа вращательной диффузии, не зависит от линейного размера ячейки моделирования. Также установлено, что для РАМАМ дендримера  $R_h$ , полученный из трансляционной подвижности, уменьшается с увеличением размеров ячейки моделирования. Корректные значения достигаются при размерах ячейки не менее  $9R_g$ .

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-13-00144).

### Ссылки

- [1] N.R. Khusnutdinova, D. A. Markelov. Hydrodynamic radius of dendrimers in solvents // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2023. – № 25. – P. 28220-28229
- [2] N.R. Khusnutdinova, D. A. Markelov. Cell size dependence of hydrodynamic radius of carbosilane dendrimers in chloroform – Book of proceeding “Magnatic Reasonance and its applications. Spinus-2024” St.Petersburg, April 1-5, 2024. Accepted
- [3] Rathgeber S, Pakula T, Urban V. Structure of star-burst dendrimers: a comparison between small angle x-ray scattering and computer simulation results // J Chem Phys. – 2004. Vol. 121, № 8. – P. 3840-3853.

УДК 544.032.53

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРФЕЙСА МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ЧАСТИЦАМИ НАПОЛНИТЕЛЯ В МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРАХ НА ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**Наджарьян Т.А.<sup>1,2</sup>, Крамаренко Е.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Ленинские горы, д. 1 с. 2*

<sup>2</sup> *ИСПМ им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва, Профсоюзная ул., 70*

*E-mail: nadz@polly.phys.msu.ru*

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) – это полимерные композитные материалы, состоящие из мягкой полимерной матрицы и жёсткого ферромагнитного наполнителя. МАЭ обладают ярко выраженным откликом на внешнее магнитное поле, что позволяет динамически управлять их свойствами при помощи внешних стимулов. Моделирование движения частиц наполнителя в полимерной среде под воздействием магнитного поля и механической нагрузки позволяет описать процесс изменения структуры материала и предсказать зависимости его механических характеристик от внешних стимулов, а также диапазоны изменения этих характеристик.

Наличие интерфейса между матрицей и частицами приводит к изменениям в свойствах композита. Интерфейс может представлять собой оболочку вокруг частиц, возникающую в результате обработки их поверхности, диффузионный слой или являться модельным описанием связи между наполнителем и матрицей. Влияние интерфейса на свойства представляет особый интерес для случая нанокompозитов.

Данная работа посвящена моделированию поведения ячейки объёма МАЭ на мезоскопическом масштабе. Моделирование производится при помощи метода конечных элементов. Рассматриваются частицы наполнителя различных форм, окружённые оболочкой с механическими свойствами, отличными от свойств матрицы и наполнителя. Изучается влияние параметров ячейки и оболочки на поведение системы в присутствии однородного магнитного поля и индуцированной деформации ячейки. Разработан метод расчёта параметров состояния ячейки при наличии больших деформаций, препятствующих сходимости численного алгоритма.

Рассчитаны зависимости смещения частиц, запасаемой в ячейке механической энергии и модуля упругости ячейки от толщины и жёсткости оболочки вокруг частиц наполнителя, а также от концентрации наполнителя в композите, модуля упругости полимерной матрицы, величины внешнего магнитного поля и механической нагрузки.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-43-00057).

УДК 004.942

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ

**Назарычев В.М.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт высокомолекулярных соединений РАН 199004 Санкт-Петербург, Большой пр. 31  
E-mail: nazarychev@imc.macro.ru*

Разработка новых материалов с улучшенными теплопроводящими свойствами для термоинтерфейсных материалов является важной задачей в области полимерных исследований. Эффективный отвод тепла от электронных компонентов при сохранении их диэлектрических свойств имеет ключевое значение для электронной промышленности, что требует использования полимеров с такими характеристиками. Термопластичные полиимиды (ПИ) обладают превосходными диэлектрическими и термическими свойствами по сравнению с другими полимерами, однако коэффициент теплопроводности полимеров не превышает 0.5 Вт/(м•К).

Один из способов улучшения теплопроводности полимеров - добавление в них нанонаполнителей, обладающих отличной теплопроводностью, таких как графен, оксид графена или гексагональные частицы нитрида бора. В данной работе были использованы методы атомистического компьютерного моделирования для изучения влияния нанонаполнителей с различной химической структурой на теплофизические и диэлектрические свойства трёх термопластичных ПИ: двух частично-кристаллических P-ОДФО и ВРДА-РЗ, а также одного аморфного ULTEM™.

Мы обнаружили, что увеличение массовой доли нанонаполнителя приводит к повышению температуры стеклования нанокomпозитов. Кроме того, увеличение массовой доли нанонаполнителя вызывает улучшение теплопроводящих свойств нанокomпозитов, однако практически не влияет на значение относительной диэлектрической проницаемости. При этом в полимерном нанокomпозите происходит формирование протяженных стопок из наночастиц графена или гексагонального нитрида бора. В случае добавления в ПИ наночастиц оксида графена снижается способность наночастиц к образованию пространственных агрегатов, что приводит к улучшению диспергирования нанонаполнителя в полимерной матрице.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 22-73-00288, <https://rscf.ru/project/22-73-00288/>).

УДК 678.4

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СВМПЭ ВОЛОКОН ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ

**Некрасов И.К.**<sup>1,2</sup>, Абдуллин И.Ш.<sup>2</sup>, Корнеева Н.В.<sup>3</sup>, Сагитова Ф.Р.<sup>4</sup>, Гарифуллин М.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Кремлевская д.18

<sup>2</sup> ООО «Плазма-ВСТ», Казань, ул. Курская д.27 оф.1000

<sup>3</sup> Институт Металлургии и Материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Москва, Ленинский проспект д.49

<sup>4</sup> Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет,

Казань, ул. Карла Маркса д.68

E-mail: igor05071997@mail.ru

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) за счет своих высоких удельных прочностных характеристик наиболее перспективен в качестве наполнителя при разработке новых композиционных материалов. Главной проблемой СВМПЭ является его плохая адгезия к матрицам, таким как эпоксидным и полиуретановым смолам. Одним из известных методов повышения смачиваемости СВМПЭ волокон является обработка потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых в высокочастотном емкостном (ВЧЕ) разряде пониженного давления [1]. Для других методов повышения смачиваемости СВМПЭ волокон, таких как химических методов, характерно травление поверхности, что неизбежно ведет к ухудшению прочностных характеристик СВМПЭ волокон. На рис.1 представлен ИК-спектр химически обработанного СВМПЭ волокна (контрольный образец) и плазмообработанного. Из рисунка видно, что в результате плазменной обработки увеличивается количество сшивок на поверхности химически протравленного волокна, что свидетельствует об восстановлении прочностных характеристик СВМПЭ волокна с помощью потока низкоэнергетических ионов.

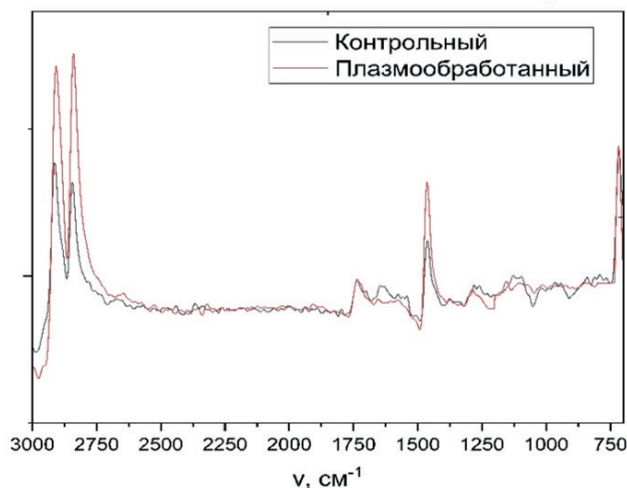


Рисунок 1. ИК-спектры СВМПЭ волокон.

### Ссылки

[1] Abdullin I.Sh., Zheltuhin V.S., Nekrasov I.K. et.all. // PPOR. - 2022. - Vol. 23. - №. 4. - Pp. 525-543.

УДК 541.64:54.116:539.3

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОТЖИГА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

**Непомнящих В.В., Лебедев О.В., Голубев Е.К., Озерин А.Н.**

*Института синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова,  
РАН, г. Москва, Профсоюзная улица, 70  
E-mail: v.nepomnyashchikh@ispm.ru*

Многофазные полимерные системы при переработке могут находиться в расплавленном и, как правило, неравновесном состоянии. Установление фазового равновесия для полимерных композитов требует некоторого времени. Для композитов, наполненных функциональным наноразмерным наполнителем, установление равновесия может сопровождаться изменением функциональных характеристик.

Системы полимер-наполнитель в состоянии расплава может сохранять непрерывность системы с изменением характерных размеров полимерной фазы при различном времени отжига [1]. Во время отжига полимерного композита, за счет эффекта миграции наполнителя, на его поверхности формируется некоторый насыщенный наночастицами слой, тем самым влияя на функциональные характеристики композита [2]. Для систем, наполненных электропроводящими наночастицами, электропроводность может быть слишком низкой, чтобы ее можно было обнаружить во всем диапазоне концентраций, если система не выдержана в состоянии расплава продолжительное время. В то время как после продолжительного отжига такого же композита электропроводность увеличивается, а порог перколяции снижается.

Целью данной работы за счет проведения исследований трибологических свойств двухкомпонентных систем от времени отжига, являлась формулировка основных научных представлений об миграции наночастиц к поверхности полимерного композитного материала. В качестве объектов исследования использовали особый тип углеродного наполнителя – наноалмазную шихту детонационного синтеза, полученную при детонации взрывчатых веществ различного типа. Используемые порошки наполнителя отличались исключительно соотношением содержания графитовой и наноалмазной фаз. Была выявлена возможность контролировать трибологические характеристики двухфазной полимерной системы за счет времени выдержки полимерного композита в состоянии расплава.

### **Благодарность**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-73-01269

### **Ссылки**

- [1] X. Zhang, T. Wada, P. Chammingkwan et al. Cooperative influences of nanoparticle localization and phase coarsening on thermal conductivity of polypropylene/polyolefin elastomer blends // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing – 2019. – Vol. 126, July. – P. 105602
- [2] Lebedev O. V, Goncharuk G.P., Ozerin A.N. Changes in electrical conductance of polymer composites melts due to carbon nanofiller particles migration // Polymers – 2021. - Vol.13, №13



УДК 541.64, 66.011

## ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАДИКАЛЬНОЙ (СО)ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ФОТОПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

**Никитин А.Н.**

*Отделение «ИПЛИТ - Шатура» КККиФ, Национальный исследовательский центр  
“Курчатовский институт”, 140700, г. Шатура, ул. Святоозерская, 1  
E-mail: anatoly\_nikitin@mail.ru*

Одной из приоритетных задач для аддитивной технологии лазерной стереолитографии является разработка новых фотополимерных композиций (ФПК) для достижения определенных физико-химических характеристик создаваемых по этой технологии трехмерных объектов. Одним из направлений исследований для решения этой задачи является численное моделирование, способное выявить особенности полимеризации, с учетом которых целенаправленно можно выбирать мономеры, наполнители и другие соединения при разработке фотополимерных композиций.

В данной работе рассмотрено формирование полимерного следа в ФПК, образованного путем радикальной полимеризации, инициированной движущимся непрерывным лазерным излучением. Проведен анализ существующих подходов моделирования физико-химических процессов протекающих в ФПК при таком инициировании. Условно эти подходы можно разделить на 3 уровня. В первом подходе полимерный след описывается простыми соотношениями, основываясь на допущении, что отверждение имеет место при определенной дозе облучения. Наиболее используемым в различных моделях и результативным оказался подход, в соответствии с которым исследовалась полимеризация “двойных связей” в различных точках пространства, используя в общем случае реакции для ингибированной полимеризации. При этом учитывались выделение и перенос теплоты, а также ингибирование кислородом и диффузия наиболее подвижных частиц в ФПК. Предполагалось, что отверждение имеет место при достижении определенной конверсии мономера в полимер. В третьем подходе учитывалось наличие полифункциональных соединений (или мономеров с двумя и более двойными связями) в ФПК, и исследовалась трехмерная полимеризация, инициированная одним импульсом излучения, с учетом реакции сшивания и циклизации [1]. При этом выбранная область ФПК рассматривалась как отвержденная при достижении точки гелеобразования. Одной из важных проблем является то, что моделирование третьего уровня пока не совмещено с явлениями переноса теплоты и массы. Также следует выделить в качестве проблемы отсутствие надежных значений кинетических параметров радикальной полимеризации, зависимостей этих параметров от длины цепи полирадикалов и от конверсии мономера. Проблемой является также отсутствие теорий постполимеризации в областях геля и золя после прохождения точки гелеобразования и дополнительной полимеризации в специальной камере для предсказания характеристик полимерного следа.

### Ссылки

[1] A N Nikitin *et al.* Features of crosslinking polymerization in laser stereolithography // *J. Phys.: Conf. Ser.* - 2019. - V.1347. - P. 012097.

УДК 539.612:666.293.38

## ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА КОНСТАНТУ ГАМАКЕРА В СИСТЕМАХ ПТФЭ/ЖИДКОСТЬ

**Обвинцев А.Ю.<sup>1</sup>, Серов С.А.<sup>1</sup>, Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Хатилов С.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ООО «НПП «Арфлон», Москва

<sup>2</sup>Курчатовский комплекс «Кристаллография и фотоника»,

НИЦ «Курчатовский институт», Москва

E-mail: e-mail: obvsun@mail.ru

Взаимодействие Ван-дер-Ваальса вносят существенный вклад в поверхностную энергию, адгезию, трение и др. Для прогнозирования таких свойств актуален вопрос о методике и точности их количественного определения. В теории Лифшица количественной характеристикой Ван-дер-Ваальсовского взаимодействия является константа Гамакера, которая определяется диэлектрическими свойствами взаимодействующих материалов. Для ее расчета необходимо знать диэлектрическую проницаемость вещества на мнимых мацубаровских частотах, для чего разрабатывают различные диэлектрические модели материалов. В работе использовали диэлектрические модели с разным количеством осцилляторов (с учетом и без учета затухания) и релаксаторов, взятых из [1-5]. Константы Гамакера были рассчитаны для систем ПТФЭ/ПТФЭ, ПТФЭ/тетрадекан, ПТФЭ/вода. Известно, что гамма-облучение ПТФЭ ведет к увеличению плотности и статической диэлектрической проницаемости [6]. В данной работе были проведены расчеты констант Гамакера при различных значениях плотности и статической диэлектрической проницаемости в зависимости от выбора диэлектрической модели. Результаты расчетов показали, что выбор диэлектрической модели существенно влияет на абсолютные значения констант Гамакера (до 21%) и практически не влияет на их относительные изменения в зависимости от плотности (вплоть до 10%) и диэлектрического инкремента (в пределах 2%) ПТФЭ. Этот результат согласуется с данными работы [6].

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

### Ссылки

- [1] Parsegian V.A. Van der Waals Forces // Cambridge university press. 2006. P. 396.
- [2] Drummond C.J., Georgaklis G., Chan D.Y.C. // J. Langmuir. 1996. V. 12. №. 11. P. 2617.
- [3] Van Zwol P.J., Palasantzas G. // Physical review. 2010. V. 81. № 6.
- [4] Hough. D.B., White. L.R. // J. Adv. Colloid Interface Sci. 1980. V. 14. №. 1. P. 3.
- [5] Fiedler J., Bostrom M., Persson C. et al // J. Phys. Chem. B. 2020. V. 124. №. 15. P. 3103.
- [6] Обвинцев А.Ю., Серов С.А., Садовская Н.В., Хатилов С.А., Бузник В.М. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. № 10. С. 52.

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРОВ ПОЛИСИЛОКСАНА С МОЧЕВИННЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

**Оленич Е.А.**<sup>1,2</sup>, **Городов В.В.**<sup>2</sup>, **Костров С.А.**<sup>2,3</sup>,  
**Миленин С.А.**<sup>2,4,5</sup>, **Музафаров А.М.**<sup>2,6</sup>, **Крамаренко Е.Ю.**<sup>2,3,6</sup>

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)  
г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.*

<sup>2</sup> *Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова,  
г.Москва, ул. Профсоюзная, 70.*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г.Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.2.*

<sup>4</sup> *Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, г.Тула, пр. Ленина, 125*

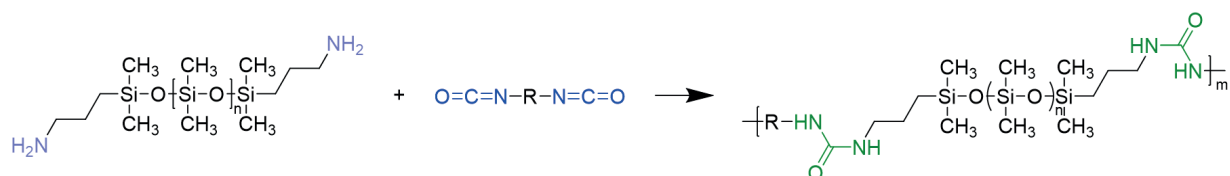
<sup>5</sup> *Центр национальной технологической инициативы, Московский Государственный Технический  
Университет ИМ. Н.Э. БАУМАНА, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5*

<sup>6</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г.Москва, ул. Вавилова, 28.  
E-mail: ekaterina.olenich@ispm.ru*

В настоящее время 3D-печать полимерами является быстро развивающейся областью, которая охватывает различные аспекты полимерной науки. Наиболее распространенными материалами, используемыми в 3D-печати, являются АБС, ПЭТГ, ПЛА, нейлон, термополиуретан и т.д. Однако для решения нестандартных задач, например, создания мягких роботов методом 3D-печати, такие материалы оказываются не подходящими, и поэтому сейчас активно идет разработка новых подходов, которые включают в себя как синтез новых соединений, так и поиск новых способов печати.

Цель работы – синтез сополимеров олигоорганосилоксана с мочевиными фрагментами и наполнение их частицами карбонильного железа для создания магниточувствительного композита. Такие сополимеры обладают преимуществами как силоксановой цепи, т.е. достаточной мягкостью и гибкостью для того, чтобы полимерный материал мог подвергаться управляющему воздействию, так и преимуществами TPU материалов, т.е. необходимой прочностью и термопластичностью.

Нами был синтезирован ряд сополимеров с различными мочевиными фрагментами по схеме, представленной ниже (Рисунок 1), материалы были наполнены микрочастицами карбонильного железа, и исследованы их вязкоупругие свойства в зависимости от величины магнитного поля.



**Рисунок 1.** Схема получения TPU силоксанов

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-43-00057.

УДК 54.05, 542.8, 546.7

## ПОЛИМЕРНЫЕ НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛСИЛСЕСКВИОКСАНОВЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТА-ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ, ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ДОСТАВКИ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА

**Орлова П.Д.<sup>1</sup>, Ле-Дейген И.М.<sup>1</sup>, Кудряшова Е.В.<sup>1</sup>, Калинина А.А.<sup>2</sup>, Мешков И.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет, Москва, Ленинские горы, д.1*

<sup>2</sup> *Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН,  
Москва, Профсоюзная улица, д.70*

*E-mail:p.orlova2021@mail.ru*

Пероральные препараты железа против железодефицитной анемии часто вызывают серьёзные побочные эффекты, например, связанные с желудочно-кишечным трактом. Побочные эффекты существенно снижают эффективность качество жизни пациентов и приводят к недостаточной эффективности терапии [1], что означает, что задача разработки новой систем доставки препаратов железа с улучшенными биофармацевтическими свойствами является актуальной. Перспективным вариантом нам представляется включение в торы кремниевых гидрогелей комплексы соединений железа с циклодекстрином. Подобная комбинация является биосовместимой и потенциально обеспечивает высвобождение железа в кишечнике [2].

В качестве кремниевого носителя предложены полиметилсилсесквиоксановые гидрогели (ПМССО) с варьируемым содержанием неорганических звеньев. Гидрогели были получены «золь-гель» методом. Золь был получен щелочным гидролизом метилтриэтоксисилана с последующей гетерофункциональной конденсацией промежуточных продуктов. Образование гидрогеля происходило при частичной нейтрализации золя кислотой.

В качестве железосодержащего препарата были рассмотрены хлорид железа (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и D-глюконат железа (II).

Комплексообразование соединений железа с 2-гидрокси-пропил- $\beta$ -циклодекстрином (ГП- $\beta$ -ЦД) проводили в различных средах (варьировали pH от 2.0 до 7.4).

ПМССО гидрогели проявляют практически 100 %-ную сорбционную способность по отношению к  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , а по отношению к D-глюконату железа сорбционная активность существенно ниже. Было установлено, что при добавлении в систему доставки ГП- $\beta$ -ЦД сорбционные свойства гидрогеля по отношению к D-глюконату железа возрастают примерно на 20 %.

Эксперименты по высвобождению препарата в различных пищеварительных средах показали, что включение в систему доставки ГП- $\beta$ -ЦД обеспечивает пролонгированное высвобождение в среде, соответствующей кишечнику.

### Ссылки

[1] T. Riddhi, B. Kalyani // Int. Journal of Pharm. – 2021. Vol. 601.

[2] I. B. Meshkov et al. // INEOS OPEN – 2019. Vol. 2 . – P. 140–144.

УДК 541.64

## СОПОЛИМЕРЫ АКРИЛОНИТРИЛА И 1-ВИНИЛИМИДАЗОЛА ДЛЯ РАСПЛАВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНА

**Осипова Н.И.<sup>1</sup>, Томс Р.В.<sup>2</sup>, Исмаилов Д.А.<sup>2</sup>, Черникова Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Ленинские горы д. 1, стр. 3*

<sup>2</sup> *МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, проспект Вернадского, д. 86  
E-mail: natosi2008@yandex.ru*

Углеродное волокно (УВ) обладает такими свойствами как: удельная прочность, жесткость и низкий удельный вес. Благодаря своим характеристикам УВ вызывает большой научный интерес, а улучшение и удешевление технологий его получения является актуальной задачей. Существует несколько видов прекурсоров для УВ, но наиболее распространенным и востребованным является полиакрилонитрил (ПАН) и его сополимеры. Традиционно «белое» волокно получают из раствора, который имеет существенные недостатки: неэкологичность (использование органических растворителей и экономическая невыгодность (регенерация растворителя и очистка осадителя). Эти недостатки возможно избежать, перейдя к альтернативному методу формования – из расплава, в котором не требуется использование растворителя и существенно повышается концентрация полимера при формовании. Формование прекурсоров на основе ПАН – это нетривиальная задача. Она осложняется тем, что у ПАН высокая температура плавления, составляющая 317-322°C. При нагреве этот полимер изменяет свою структуру из линейной в лестничную, что делает его неспособным к течению. Чтобы снизить температуру плавления ПАН, используются разные методы, один из которых – добавление в ПАН сомономерных звеньев.

Согласно литературным источникам, 1-винилимидазол (ВИМ) является одним из наиболее перспективных сомономеров для использования в процессе формования из расплава, так как он не только снижает кристалличность ПАН, но и не ускоряет и не замедляет реакцию циклизации, выполняя функцию инертного сомомера.

В настоящей работе предлагается использовать радикальную полимеризацию для синтеза сополимеров акрилонитрила и 1-винилимидазола, содержание сомомера 20 мол. %, полимеризацию проводили в массе. Для получения сополимеров с узким ММР использовали 2-меркаптоэтанол (МЭ) в качестве передатчика цепи и уксусную кислоту, а также их смесь для сополимеров. Ранее нами было показано, что оптимальное мольное соотношение ВИМ/уксусная кислота = 1/5, а содержание МЭ варьировали от 5 до 10 мол. %. Показано, смесь уксусной кислоты и МЭ приводит к получению сополимеров с узким ММР и низкой композиционной неоднородностью. Формование волокон осуществлялось из расплава сополимеров, подвергающихся плавлению, изучены механические характеристики волокон.

УДК

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВОЙНЫХ СЕТОК НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В 3D ПЕЧАТИ

**Оспенников А.С., Шibaев А.В., Филиппова О.Е.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия  
E-mail: ospennikov@polly.phys.msu.ru*

Создание принципов конструирования биоразлагаемых гидрогелевых структур желаемой формы из природных компонентов с использованием современной безотходной ресурсосберегающей технологии - 3D-печати представляется чрезвычайно актуальной задачей в условиях загрязнения планеты полимерными отходами. Для повышения механической прочности биочернил использована концепция двойной сетки. Они по своей структуре представляют собой взаимопроникающие полимерные сетки с сильно отличающимися свойствами: первая сетка – сильно сшитая и жесткая, а вторая – слабо сшитая и образованная гибким полимером. В ходе работы создан новый тип механически прочных гидрогелей, пригодных для 3D-печати, на основе комбинации легко перестраиваемых двухкомпонентных полимерных сеток с дополняющими друг друга характеристиками: (1) механической прочностью - за счет жесткой сетки нанокристаллов целлюлозы и (2) способностью к сильным деформациям и к быстрому восстановлению формы после механической нагрузки - за счет более гибкой сетки – гидроксипропилгуара (ГППГ). Поскольку сетка целлюлозы будет самособирающейся, она позволит сохранить реологические свойства, необходимые для 3D-печати: быстрое сшивание полимерных цепей, способность геля течь при прикладывании напряжения, быстрое восстановление свойств после нанесения на поверхность, способность нанесенных слоев материала сшиваться друг с другом. Двойная сетка на основе ГППГ и сетки нанокристаллов целлюлозы приводит к увеличению модуля упругости, напряжения и деформации при разрыве по сравнению с каждым из компонентов по-отдельности.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-13-00177)



УДК

## КОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И СОПОЛИМЕРА СТИРОЛСУЛЬФОНОВОЙ И МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТ В КИСЛОЙ И СОЛЕВОЙ ФОРМАХ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Оченков Д.Е., Панцерная С.А., Неудахина А.А., Гроссман Р.В.,  
Пышкина О.А., Литманович Е.А., Сергеев В.Г.**

*МГУ им. Ломоносова, Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр.3  
E-mail: dmitrijocenkov@gmail.com*

В работе методами статического и динамического светорассеяния и капиллярной вискозиметрии изучено взаимодействие между поливиниловым спиртом (ПВС) и сополимером стиролсульфоновой и малеиновой кислот в солевой и кислой формах (ПССМNa и ПССМН) в водных растворах в широком концентрационном интервале.

Показано, что между ПВС и сополимером как в кислой, так и в солевой форме происходит взаимодействие – формирование комплексов в полуразбавленных растворах. Взаимодействие полимерных компонентов приводит к изменению границ концентрационных режимов растворов ПВС: в присутствии сополимера концентрация кроссовера ПВС  $C^*$  возрастает, а концентрация образования сетки зацеплений  $C_c$  уменьшается. В результате в растворах комплексов исчезает полуразбавленный режим без зацеплений.

Показано также, что в разбавленном растворе взаимодействие наблюдается только между ПВС и солевой формой сополимера, при этом комплексообразование сопровождается компактизацией клубков ПВС, в то время как ПВС и кислая форма сополимера не взаимодействуют и образуют совместимую смесь полимеров.

Это отличие во взаимодействии обусловлено различным механизмом взаимодействия между ПВС с солевой и кислой формами сополимера. В случае солевой формы сополимера механизм взаимодействия заключается в образовании как межцепных водородных связей между атомом водорода гидроксильной группы ПВС и атомом кислорода сульфогруппы и/или карбоксильной группы в составе ПССМNa, так и ион-дипольных связей между группами  $-SO_3Na$  и/или  $-COONa$  в составе ПССМNa и OH группой в составе ПВС, в то время как в случае кислой формы сополимера механизм взаимодействия заключается в образовании только межцепных водородных связей между атомом водорода гидроксильной группы ПВС и атомом кислорода сульфогруппы и/или карбоксильной группы в составе ПССМН.

Зависимость вязкости от соотношения компонентов как для кислой, так и для солевой формы сополимера соответствует совместимой смеси полимеров в общем растворителе. Кроме того, растворы комплексов ПВС-ПССМН являются прозрачными и гомогенными во всем интервале соотношений исходных компонентов, что обосновывает перспективность использования смесей ПВС – ПССМН для создания пленкообразующих композиций на их основе.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках проекта “Современные проблемы химии и физико-химии высокомолекулярных соединений” (госбюджет, номер АААА-А21-121011990022-4).

УДК 541(64+14+183)

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЖК-КОМПОЗИТЫ С ФОТО-, ТЕРМО- И МЕХАНОУПРАВЛЯЕМЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

**Павлов С.Н.**, Баленко Н.В., Бобровский А.Ю., Шibaев В.П.

*Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д.1.*

*E-mail: sergpavlovn@mail.ru*

В настоящее время большое внимание привлекают новые «умные» материалы, способные изменять свои свойства под воздействием различных факторов, таких как свет, температура, электрическое и магнитное поле, а также механическое напряжение. При воздействии указанных стимулов жидкие кристаллы (ЖКр) способны изменять свои оптические свойства. Композиционные материалы, состоящие из эластичных полимерных матриц и капель холестерических ЖКр, диспергированных в них, способны изменять оптические свойства при воздействии механической деформации, то есть демонстрируют механочувствительность [1].

В данной работе впервые получены многофункциональные фото-, термо- и механокромные холестерические полимерные композиты и изучены их оптические и физико-механические свойства. Для этого были получены ЖК-смеси на основе производных холестерина различного состава с добавлением хирально-фотохромных допантов. Они были диспергированы (в виде капель размером от нескольких до десятков микрон) в эластичных матрицах на основе полиуретана и пластифицированного глицерином поливинилового спирта. Облучение полученных плёнок УФ-светом (313 нм) приводит к сдвигу пика селективного отражения света (СОС) в коротковолновую область спектра (амплитуда сдвига — более 40 нм). Это связано с процессом фотоизомеризации в молекулах допантов, что приводит к изменению их закручивающей способности. С другой стороны, нагрев также приводит к коротковолновому смещению пика СОС; причём он проходит через всю видимую область при нагревании от 33 до 40 °С. Более того, к аналогичным эффектам сдвига пика СОС приводит и механическое растяжение плёнок композитов. В этом случае происходит деформация холестерической спиральной структуры в направлении, ортогональном направлению деформации.

Полученные многофункциональные стимул-чувствительные композиты являются перспективными для применения в фотонике, оптоэлектронике, записи и хранении информации, создании сенсоров растяжения и деформации и т.д.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (22-13-00055).

### **Ссылки**

[1] Balenko, N.; Shibaev, V.; Bobrovsky, A. Mechanosensitive Polymer-Dispersed Cholesteric Liquid Crystal Composites Based on Various Polymer Matrices. *Polymer (Guildf)*. 2023, 281. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2023.126119>.

УДК 677.494.745.32

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОАГУЛЯЦИИ ПАН ИЗ РАСТВОРА В НММО ПРИ ФОРМОВАНИИ ВОЛОКОН

**Пальчикова Е.Э., Макаров И.С., Виноградов М.И., Куличихин В.Г.**

*ИНХС РАН, г. Москва, Ленинский пр. 29*

*E-mail: shatokhina@ips.ac.ru*

На сегодняшний день ПАН являются одним из самых популярных полимеров для получения углеродных волокон, более 98% углеродных нитей производятся на его основе. ПАН-волокна формируются из растворов в высокополярных апротонных растворителях, таких как ДМСО, ДМФА и ДМА. Эти растворители имеют ряд недостатков таких, как высокая упругость паров, токсичность, нестабильность раствора, сложность регенерации и требуют специального оборудования.

Известно, что N-метилморфолин-N-оксид (НММО) является прямым растворителем не только для целлюлозы, но и для ПАН. НММО это промышленный органический растворитель, который может быть регенерирован до 99,9%. НММО является одним из новых растворителей ПАН, который позволяет получить высококонцентрированные растворы ПАН, содержащие до 56% полимера. Растворы получают на основе уникального метода твердофазного растворения ПАН в НММО. Суть метода заключается во взаимодействии ПАН с кристаллическим растворителем НММО, при котором под одновременным воздействием напряжения сдвига и давления образуется „твердый раствор”. Который затем обрабатывается путем непрерывной экструзии и формируется в осадительные ванны методом сухо-мокрого формования.

Для фиксации формы полимерной фазы при формовании волокон из раствора требуется диффузное удаление растворителя, что приводит к временному градиенту концентрации удаляемого компонента. В зависимости от скорости процесса осаждения волокна в осадительной ванне, т.е. скорости диффузии, осадитель можно разделить на жесткий и мягкий. В данной работе изучалось влияние природы и состава осадительной ванны на структуру, морфологию и механические свойства волокон, сформированных из растворов ПАН в НММО. Показано, что для растворов ПАН в НММО жестким осадителем является вода. Для смягчения процесса осаждения в осадительную ванну добавлялся растворитель. Увеличение концентрации растворителя в осадительной ванне приводило к более плавному процессу агломерации волокон, т.е. к меньшим размерам и количеству дефектов. Важно отметить, что слишком большое количество растворителя в осадительной ванне привело к растворению волокон, т.е. к „разрыхлению” поверхности, а не к осаждению волокон.

Состав ванны для осаждения должен соответствовать используемому полимерному раствору, чтобы волокна были правильной (круглой) формы, дефекты сглажены, струя равномерно загеливалась, а остаточный растворитель вымывался из волокон.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ДИСПЕРСИЙ: ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ИЗОЦИАНАТСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА

**Панин Е.О.<sup>1,2</sup>, Джалмуханова А.С.<sup>2</sup>, Карпов С.В.<sup>2</sup>, Перепелицина Е.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
факультет фундаментальной физико-химической инженерии, Москва, Россия*

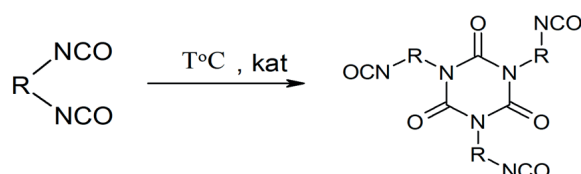
<sup>2</sup> *Группа полиуретанов отдела полимеров и композитных материалов (ОПиКМ),*

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики*

*и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия*

*E-mail: Panin.EO@yandex.ru*

При синтезе однокомпонентных вододиспергируемых полиуретанов (ВДПУ) основной стадией является получение преполимера. Для его синтеза используются различные диизоцианаты, например, изофорондиизоцианат (ИФДИ) [1]. Кроме того, при синтезе ВДПУ в качестве изоцианатсодержащего компонента потенциально могут быть использованы олигоизоцианураты (ОИЦ), являющиеся продуктами реакции циклотримеризации диизоцианатов (схема 1).



**Рисунок 1.** Схема реакции циклотримеризации диизоцианатов.

Не вызывает сомнений, что природа изоцианатсодержащего компонента будет оказывать значительное влияние на свойства синтезируемого полиуретана. Известно, что полиуретаны, полученные с использованием олигоизоциануратов, обладают повышенной термо-, огнестойкостью, а также устойчивостью к УФ-излучению и гидролизу. Наиболее предпочтительным, на наш взгляд, для синтеза ВДПУ является использование ОИЦ на основе ИФДИ (ОИЦ ИФДИ), так как он относительно устойчив к гидролизу и имеет различную реакционную способность изоцианатных групп [2]. Поэтому целью данной работы является синтез и исследование свойств ВДПУ на основе мономерного ИФДИ и олигомерного ОИЦ ИФДИ.

В настоящей работе был проведён синтез и сопоставлены свойства ряда ВДПУ на основе ИФДИ и его ОИЦ с олигодиолами различной природы: поли(1,4-бутиленадипинат), поли(тетрагидрофуран)диол, поликапролактондиол. Свойства полученных ВДПУ были исследованы различными физико-химическими методами анализа. Работа выполнена по теме Государственного задания, № 124013000722-8.

### Ссылки

[1] Saeedi S., Omrani I., Bafkary R., Sadeh E., Shendi H., Nabid M. Facile preparation of biodegradable dual stimuli-responsive micelles from waterborne polyurethane for efficient intracellular drug delivery // *New Journal of Chemistry*. 2019. V. 43. P. 18534-18545

[2] Карпов С.В., Лодыгина В.П., Комратова В.В., Джалмуханова А.С., Малков Г.В., Бадамшина Э.Р. Кинетические закономерности образования уретана из изофорондиизоцианата: влияние природы катализатора и растворителя // *Кинетика и катализ*. 2016. Т. 57. № 4. С. 429-435.

УДК 691.175.2

## КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА И МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Христофорова И.А., Христофоров А.И., Цанов Ю.Т.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
г. Владимир, г. Владимир, ул. Горького, 87  
E-mail: tpp\_vlgu@mail.ru*

Композиционные материалы применяются в различных отраслях народного хозяйства. Наибольшее применение они нашли в производстве строительных материалов. Используются различного рода наполнители от минеральных (кварцевые пески, мелкий гравий, мел, известняк, бой кирпича, стекла, вторичные материалы, золы-уноса) до органических (волокна, полимеры) веществ и наноматериалов (нанотрубки, нановолокна и др.)

По сравнению с традиционными материалами для строительства (бетоны, силикатные и керамические изделия) композиционные полимерные материалы обладают следующими преимуществами: сравнительно кратковременным циклом изготовления, высокими прочностными показателями, повышенной трещиностойкостью, стойкостью к воздействию большинства промышленных технологических сред и окружающей среды, стойкостью к истиранию, хорошей адгезионной способностью ко многим строительным материалам.

На кафедре химических технологий ВлГУ ведутся разработки по получению материалов различного назначения на основе поливинилхлорида. В исследованиях используются различные наполнители (кварцевый песок, бой стекла различного цвета, зола-уноса ТЭЦ, вторичные отходы и др.) [1].

Для получения ПВХ-композитов используется прессовый и беспрессовый метод. При использовании прессовой технологии изделия получаются с более высокими физико-механическими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства разработанных ПВХ-композитов по прессовой технологии

Наименование показателя	Значение
1. Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400-2010
2. Предел прочности при сжатии, МПа	8-28,5
3. Ударная прочность, кДж/м <sup>2</sup>	1,8-4,3
4. Класс горючести	Г1
5. Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,18-0,46
6. Морозостойкость, циклов, не менее	100

### Ссылки

1. Khristoforova, I. Modeling the properties of lightweight polymer concrete produced from polyvinyl chloride and combined heat and power plant waste / I. Khristoforova, A. Khristoforov // Journal of Physics: Conference Series, Divnomorskoe, 31 мая – 06 2021 года. – Divnomorskoe, 2021. – P. 042036.

УДК 661.717.5

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМОЧЕВИН ЭПОКСИДНЫМИ ОЛИГОМЕРАМИ

**Панов Ю.Т., Тимаков Е.А., Чижова Л.А.**

*Владимирский Государственный Университет им. А.Г. и Н.Г Столетовых,  
г. Владимир, ул. Горького, д. 87.  
E-mail: tpp\_vlgu@mail.ru*

В последние десятилетия все более широкое распространение получают покрытия на основе полимочевин. Полимочевины, как и полиуретаны представляют собой полимеры, которые получают путем реакции между изоцианатами и молекулами, содержащими гидроксильные или аминогруппы. Не смотря на их заметные преимущества по сравнению с полиуретанами, они имеют существенный недостаток – невысокая химическая стойкость, что ограничивает их применение в качестве покрытия для защиты от абразивного износа оборудования, работающего в экстремальных условиях.

Целью данной работы являлась изучение возможности модификации полимочевин, применяемых для защитных покрытий, эпоксидными олигомерами. Введение эпоксидного олигомера непосредственно в систему не дает желаемого эффекта, так как реакция между изоцианатными и аминными группами протекает на несколько порядков быстрее, чем с функциональными группами эпоксида [1]. Были получены аддукты, синтезированные на основе реакции изоцианатного компонента с эпоксидной смолой, строение которых было изучено методом ИК-спектроскопии.

Установлено, что гидроксильные группы эпоксидного олигомера вступают в реакцию с изоцианатом, в то же время, эпоксидные группы во взаимодействии не участвуют. Применение данного аддукта при изготовлении полимочевины позволило получить образцы, с высокими эксплуатационными свойствами на уровне немодифицированных с более высокой химической стойкостью. Сравнительная таблица химической стойкости готового покрытия от ввода аддукта, синтезированного при температуре 25° С представлена в таблице.

Процент ввода	Сохранение по массе, %			
	H <sub>2</sub> O	NaOH (10%)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (25%)	Нефрас
0% (стандарт)	65	55	20	100
5 %	75	60	46	100
10 %	80	65	60	100
15 %	85	75	70	100

### Ссылки

1. Романов С. В., Панов Ю. Т., Ботвинова О. А. Влияние количества жестких блоков на физико-механические свойства герметиков и покрытий на основе полимочевины // Клеи. Герметики. Технологии.– №1.–2018 С.12-16



УДК 691.175.5/8

## РАЗРАБОТКА ОЛИГОМЕРНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ НЕФУЛЛЕРЕНОВЫХ АКЦЕПТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Папковская Е.Д., Дядищев И.В., Калининченко А.К., Маннанов А.Л.,  
Пономаренко С.А., Лупоносов Ю.Н.

*Институт Синтетических Полимерных Материалов  
имени Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия  
E-mail: papkovskaya@ispm.ru*

Органическая фотовольтаика является интенсивно развивающейся областью. Органические солнечные батареи (ОСБ) на основе полимеров вызывают значительный интерес благодаря своим уникальным преимуществам, включая повышенную стабильность устройств, механическую растяжимость и гибкость по сравнению с другими типами солнечных элементов. Недавно благодаря появлению нефуллереновых акцепторов (НФА) и оптимизации устройств с объемным гетеропереходом, ОСБ на основе олигомерных и полимерных НФА Y-серии достигли значительного улучшения фотоэлектрических характеристик с эффективностью более 18% [1]. Однако остаются нерешенными вопросы о взаимосвязи структуры-свойства-производительности устройства, комплементарности донорных материалов для них и стабильности. Поэтому исследования в этой области являются важными и актуальными.

В данной работе разработан и осуществлен синтез новых полимерных НФА на основе поликонденсации мономеров, представляющих сопряженные донорно-акцепторные структуры с центральным конденсированным электроно-донорным фрагментом и сильными электроно-акцепторными концевыми группами [2], с сомономерами на основе тиофена и его производных. Все синтезированные соединения обладают подходящими энергиями уровней НСМО и ВЗМО для использования в качестве акцепторных материалов, достаточно высокой термической стабильностью (выше 290°C при потере 5% массы) и эффективным поглощением солнечного света в широком спектральном диапазоне (от 400 до 900 нм), при этом спектры поглощения в тонких плёнках имеют уширенный вид и их максимумы смещены в длинноволновую область спектра. Лучшие результаты тестирования НФА в смесях с донорным материалом РМб продемонстрировали эффективность более 16,9% в прототипах ОСБ.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2024-0003).

### Ссылки

- [1] Wang, T. Recent research progress of all-polymer solar cells based on PSMA-type polymer acceptors / T. Wang, M. Chen, R. Sun, J. Min // Chem. – 2023. Vol. 7, № 9. – P. 1702-1767.  
[2] E.D. Papkovskaya, E. D. Improving the Efficiency of Organic Solar Cells via Molecular Engineering of Simple Fused Non-fullerene Acceptors / E.D. Papkovskaya, J. Wan, D. O. Balakirev, I. V. Dyadishchev, A. V. Bakirov, Yu. N. Luponosov, J. Min, S. A. Ponomarenko // Energies – 2023. Vol. 16. – P. 3443.

УДК 543.429.23

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ ОКИСИ ЭТИЛЕНА И ПРОПИЛЕНА НА ДИНАМИКУ ПОЛИМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

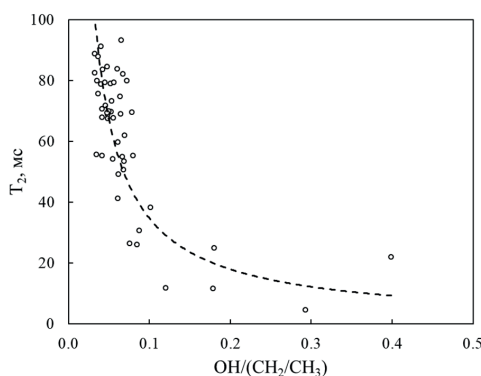
**Паппел К.Х.<sup>1,2</sup>, Ракитин А.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «ТомскНИПИнефть», г. Томск, пр. Мира 72, 634027

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: PappelKK@tomsknipi.ru

Методами ИК спектроскопии, <sup>13</sup>C ЯМР спектроскопии и <sup>1</sup>H ЯМР релаксометрии исследовано около 50 образцов блок-сополимеров окиси этилена и пропилена (ЕО-РО), представляющих собой активную основу промышленных деэмульгаторов водонефтяных эмульсий. Относительное содержание ЕО и РО определяли деконволюцией области валентных колебаний С–Н 3000-2800 см<sup>-1</sup> ИК спектров, где пик при 2967 см<sup>-1</sup> соответствует СН<sub>3</sub>-группам РО, 2865 см<sup>-1</sup> – СН<sub>2</sub>-группам ЕО и РО. Массовые доли звеньев находили, пользуясь линейной корреляцией между отношением амплитуд ИК пиков  $A_{2865}(\text{CH}_2)/A_{2976}(\text{CH}_3)$  и содержанием ЕО, рассчитанным из спектров <sup>13</sup>C ЯМР нескольких репрезентативных образцов [1]. Ранжирование ЕО-РО по концентрации концевых гидроксидов проводили, используя площадь полосы поглощения валентных колебаний О–Н с максимумом при 3490-3470 см<sup>-1</sup>. Среднее время спин-спиновой релаксации протонов  $T_2$  получали аппроксимацией сигнала импульсной последовательности СРМГ суммой двух экспонент. Показано, что  $T_2$  резко снижается с ростом отношения  $\text{ОН}/(\text{CH}_2/\text{CH}_3)$ . Физический смысл наблюдаемой закономерности состоит в ограничении мобильности полимерных фрагментов с упрочнением сетки водородных связей и повышением доли звеньев окиси пропилена.



**Рисунок.** Зависимость времени спин-спиновой релаксации от структурного параметра ЕО-РО

### Благодарность

Авторы признательны сотрудникам Лаборатории реологии нефти ИХН СО РАН Н.В. Юдиной и Д.А. Зубареву за предоставленные образцы деэмульгаторов.

### Ссылки

[1] Ракитин А.Р., Паппел К.К., Киселев С.А. Гидрофильно-липофильный баланс современных отечественных деэмульгаторов // Нефтяное хозяйство – 2023. – № 11. – С. 104-108.

УДК 547.874.1, 54.05, 691.175, 544.18

## АЗИДО-АЦЕТИЛЕНОВЫЕ МОНОМЕРЫ ТИПА АВ<sub>2</sub> И СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ 1,3,5-ТРИАЗИНА: МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ

**Петров А.О.<sup>1</sup>, Малков Г.В.<sup>1</sup>, Карпов С.В.<sup>1</sup>, Подрезов Г.А.<sup>1,2</sup>, Лемперт Д.Б.<sup>1</sup>,  
Джалмуханова А.С.<sup>1</sup>, Даровских А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, пр-кт акад. Семенова, д.1*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д. 1  
E-mail: petrov\_ao@icp.ac.ru*

Сверхразветвленные полимеры (СРП) – дендритные полимеры, макромолекулы которых обладают развитой нерегулярной глобулярной структурой. Активное исследование этих полимеров обусловлено рядом уникальных свойств: лучшая, по сравнению с полимерами линейного строения, растворимость в органических растворителях и более низкая вязкость растворов, большое количество функциональных групп и возможность их модифицирования для решения различных задач материаловедения.

1,3,5-триазин – шестичленное ароматическое кольцо, содержащее три атома азота, является применяемой структурой в различных областях деятельности человека, особенно в области создания энергоемких соединений. Наличие в структуре производных 1,3,5-триазина азидных и пропинильных функциональных групп позволяет рассматривать эти соединения в качестве АВ<sub>2</sub> мономеров, в результате полиприсоединения по реакции азид-алкинового циклоприсоединения (ААЦ) которых образуются сверхразветвленные поли(триазин-триазолы) – перспективные модификаторы энергетических, физико-механических и технологических характеристик полимерных связующих и горючих. Известно, что в качестве продуктов реакции ААЦ в зависимости от природы заместителей при реакционноспособных группах образуются смеси 1,4- и 1,5-дизамещенных 1,2,3-триазолов. Следует ожидать, что соотношение региоизомеров будет предопределять как плотность макромолекулярной упаковки, так и другие физико-химические характеристики продуктов полиприсоединения. Что в свою очередь скажется на энергетических свойствах образующихся полимеров.

С помощью современных методов квантово-химического моделирования и молекулярной динамики была установлено влияние структуры мономера на состав продуктов реакции ААЦ и строение получаемых СРП. Были рассчитаны физико-химические и энергетические свойства азидо-ацетиленовых мономеров и СРП на основе 1,3,5-триазина. Показана теоретическая перспектива их применения в качестве компонентов энергетических систем.

### **Благодарность**

Работа выполнена согласно государственному заказу (регистрационный номер 124020800013-7) с использованием оборудования Аналитического центра коллективного пользования ФИЦ ПХФ и МХ РАН.

УДК 541.64:542(943+952)

## ПОЛИМЕР-УГЛЕРОДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПОЛИАЗИНОВ

**Петров В.А., Озкан С.Ж., Карпачева Г.П.**

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской Академии Наук,  
г. Москва, Ленинский проспект, 29  
E-mail: petrov@ips.ac.ru*

Впервые получены полимер-углеродные наноконпозиты на основе гетероциклических полиазиннов – полифенотиазина (ПФТА) и полифеноксазина (ПФОА) и углеродных наноматериалов (УНМ) – оксида графена (ОГ), одностенных (ОУНТ) и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ). Гибридные наноконпозиты получены двумя методами: в ходе межфазной окислительной полимеризации мономеров в присутствии УНМ и из растворов предварительно синтезированных полимеров в ДМФА, содержащих УНМ, с последующим удалением растворителя. Структура и морфология полученных наноконпозитов в сравнении с исходными полимерами охарактеризована с помощью методов ИК-Фурье- и электронной спектроскопии, РФЭС, РФА, КР и СЭМ.

При получении наноконпозитов в присутствии оксида графена, независимо от способа синтеза, происходит его восстановление. Образование восстановленного оксида графена (ВОГ) в процессе окислительной полимеризации происходит за счёт участия его в реакции как окислителя. При получении наноконпозитов из растворов полимеров в ДМФА, содержащих ОГ, в ходе термического удаления растворителя на воздухе восстановление ОГ происходит за счёт водорода, выделяющегося при поликонденсации полимерных звеньев. Это подтверждается данными РФА: на дифрактограммах отсутствует пик ОГ ( $17^\circ$ ) и присутствует характерный для ВОГ пик при  $39^\circ$  ( $\text{CrK}_\alpha$ -излучение).

Исследована частотная зависимость электропроводности наноконпозитов. Проводимость конпозитов, полученных из раствора ДМФА, выше, чем у конпозитов, синтезированных окислительной полимеризацией. При этом она практически не зависит от частоты. Независимо от природы полимерного компонента электропроводность наноконпозитов с ВОГ соизмерима с проводимостью материалов с ОУНТ и МУНТ, что также свидетельствует о восстановлении ОГ в ходе синтеза. Показано, что синтезированные наноконпозиты являются электрохимически активными [1].

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНХС РАН.

### **Ссылки**

[1] Pisarevskaya E.Yu., Ozkan S.Zh., Petrov V.A., Efimov O.N., Karpacheva G.P. New electrodes based on composites of polyphenothiazine with carbon nanomaterials. // Mater. Chem. Phys. – 2024. – V. 312. – P. 128668.

УДК 66.081.63

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ АСИММЕТРИЧНЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИСУЛЬФОНА С ВНЕДРЕННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ГРАФЕНА

Гиззатов А.С., Петров М.А., Еремин Ю.С., Грехов А.М.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва, 115409, Каширское ш., д. 31  
E-mail: pmapetrov@gmail.com*

Полимерные мембраны широко используются в различных промышленных мембранных технологиях разделения и очистки газов и жидкостей [1]. Одной из актуальных задач мембранного материаловедения является поиск новых материалов для создания мембран с улучшенными транспортными и селективными свойствами. Синтез новых полимеров достаточно медленный процесс, поэтому остаются актуальными альтернативные методы улучшения транспортных свойств полимерных мембран, например, создание «mixed matrix membranes» (МММ) – полимеров, содержащих неорганические наночастицы [1]. Особый интерес вызывают углеродные наночастицы с большим аспектным числом, так как они позволяют изменять свойства полимеров при низких концентрациях.

В нашей работе исследовано влияние оксида графена (ОГ) на проницаемость жидкостей при высоких давлениях через асимметричные мембраны из полисульфона (ПСФ) и ОГ. Образцы изготовлены методом инверсии фаз: приготовлены формовочные растворы из диметилформаида (ДМФА), ПСФ и ОГ с массовой концентрацией ПСФ относительно ДМФА 15% и ОГ относительно ПСФ 0-1%. Для диспергирования агломератов ОГ использован ультразвуковой диспергатор (УЗДН-2Т).

Проницаемость жидкостей измерялась на экспериментальном стенде ИТЖМ, описанном в работе [2]. Изменения проводились при постоянном давлении 1.0, 1.5 и 2.0 МПа и температуре 30°C.

Установлено, что добавление ОГ приводит к нелинейному изменению проницаемости образцов. Например, добавление 0.1% приводит к увеличению проницаемости воды в 3.1 раза, дальнейшее увеличение концентрации ОГ приводит к уменьшению проницаемости в 2.8 раз. Наблюдаемые изменения нельзя объяснить в рамках существующих моделей. Полученные результаты могут быть связаны с влиянием ОГ на процесс формирования мембраны.

### Ссылки

- [1] Yampolskii Yu.P., Starannikova L.E., Belov N.A. Hybrid Gas Separation Polymeric Membranes Containing Nanoparticles // Petroleum Chemistry. – 2014. – Vol. 54, No. 8. P. 637–651.  
[2] Grekhov A., Belogorlov A., Yushkin A., Volkov A. New express dynamic technique for liquid permeation measurements in a wide range of trans-membrane pressures // Journal of Membrane Science. – 2012. – Vol. 390-391. P. 160–163.

УДК 621.315.616.9

## ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНА, НАПОЛНЕННОГО НИТРИДОМ БОРА

Чухланов В.Ю., [Петухова Э.А.](#)

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
г. Владимир, ул. Горького, д. 87, 600000  
E-mail: [leonora.petuhova@yandex.ru](mailto:leonora.petuhova@yandex.ru)*

В настоящее время актуальной задачей является разработка материалов с повышенными теплопроводящими и одновременно высокими диэлектрическими характеристиками, которые можно использовать в строительной отрасли в условиях повышенных температур и электрических полей. Интерес представляют полиорганосилоксановые материалы за счёт стойкости к неблагоприятным факторам: УФ-излучению, микробиологическим воздействиям, высоким температурам и химическим средам. Однако ненаполненные полиорганосилоксановые материалы имеют посредственные физико-механические характеристики, вследствие недостаточных межмолекулярных взаимодействий. В качестве наполнителей полиорганосилоксановых смол обычно используют металлические пудры, оксиды переходных металлов, карбиды и нитриды. Одним из интересных наполнителей является нитрид бора, который является теплопроводящим полупроводником, превосходящим по ширине запрещённой зоны и величине пробивного электрического поля традиционные наполнители [1].

В работе исследованы физико-механические, теплофизические и электрические свойства полимерной композиции на основе олигодиметилсилоксана с реакционноспособными гидроксильными группами, наполненного нитридом бора. В качестве отвердителя использовали катализатор К-18, который представляет собой смесь диэтилдикаприлата олова и тетраэтоксисилана. Установлены зависимости свойств композиции от содержания наполнителя и температуры. Введение нитрида бора в композицию приводит к повышению механических, адгезионных и теплофизических свойств композиции. Определено, что с ростом температуры снижается удельное электрическое сопротивление материала. Результаты работы могут найти прикладное применение в различных областях техники и науки.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2024-0004, госзадание ВлГУ).

### Ссылки

[1] Shui, Y. How the silica determines properties of filled silicone rubber by the formation of filler networking and bound rubber / Y. Shui, L. Huang, Ch. Wei, G. Sun, J. Chen, A. Lu, L. Sun, D. Liu // Compos. Sci. Technol. – 2021. Vol. 215. 109024.



УДК 544.6.018.47-036.5:544.546

## ИОННО-ТРЕКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ ФТОРОПЛАСТОВЫХ МЕМБРАН

**Пинаева У.В.<sup>1</sup>, Хромов Г.А.<sup>2</sup>, Тютюнов А.А.<sup>2,3</sup>, Нечаев А.Н.<sup>1</sup>,  
Апель П.Ю.<sup>1</sup>, Добровольский Ю.А.<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1

<sup>3</sup> ООО «Центр водородной энергетики», 142432, Московская область,  
г.о. Черноголовка, г. Черноголовка, пр-кт Академика Семенова, д. 3, помещение 3  
E-mail: pinaeva@jinr.ru

Разработка новых мембранных материалов представляет перспективное направление для создания альтернативных источников энергии. Среди многообразия топливных элементов ячейки с твердым полимерным электролитом являются наиболее востребованными, в частности, для применений в системах с переменным профилем нагрузки [1]. Лидирующее положение в таких типах систем занимают перфторированные сульфокислотные мембраны типа Nafion<sup>®</sup>. Расширение круга производственных задач требует создания протонпроводящих мембран с варьируемыми эксплуатационными характеристиками при сохранении их экономической доступности. Оба требования могут быть удовлетворены посредством использования ионно-трековой технологии для модификации фторопластовых пленок, прежде всего поливинилиденфторида (ПВДФ) [2]. Результатом радиационного воздействия на полимер является формирование пронизывающих пленку цилиндрических зон с измененными физико-химическими свойствами, включающих, помимо прочих дефектов, свободные радикалы. Присутствие последних позволяет обеспечить ковалентное связывание между матрицей и прививаемым ионообменным полимером, повышая долговечность материала за счет снижения риска вымывания при использовании. Более того, ожидается, что такая архитектура создаст наиболее благоприятные транспортные условия для кратчайшего пути переноса протонов.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке ПАО АФК «Система», № 801/20-23.

### Ссылки

[1] Ярославцев, А. Б. и др. Наноструктурированные материалы для низкотемпературных топливных элементов // Успехи химии. – 2012. – № 81(3). – С. 191-220.

[2] Chen, J. et al. Preparation and characterization of chemically stable polymer electrolyte membranes by radiation-induced graft copolymerization of four monomers into ETFE films // J. Membr. Sci. – 2006. – V. 269. – №1-2. – P. 194-204.

УДК 66.095.26

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОСБОРКИ В БЛОК-СОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И Н- И ТРЕТ-БУТИЛАКРИЛАТА

Вашуркин Д.В.<sup>1,2</sup>, Максимович М.С.<sup>3</sup>, Пирыжев А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

<sup>2</sup>Химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>3</sup>Факультет фундаментальной физико-химической инженерии МГУ им. М. В. Ломоносова  
E-mail: stunnn@gmail.com

Исследования блок-сополимеров играют важную роль в развитии химии высокомолекулярных соединений. В ходе исследований были существенно развиты методы синтеза, анализа, а также области применения новых блок-сополимеров. Сегодня их можно встретить практически во всех областях: химии, физике, материаловедение, электротехнике и медицине. Современные синтетические подходы позволяют получить широкий спектр блок-сополимеров с необходимым составом, архитектурой и свойствами, многие из которых обусловлены их способностью к организации в различные надмолекулярные структуры.

Целью представляемой работы является синтез и исследование процессов самосборки в блок-сополимерах, состоящих из стирола, н- и трет-бутилакрилата. В качестве основного метода получения блок-сополимеров типа АВА' (ассиметричных), АВС и (АВ)<sub>3</sub> был использован метод радикальной полимеризации с переносом атома. Для достижения необходимых молекулярно-массовых характеристик были проведены несколько серий экспериментов, в которых варьировались температура, соотношение и состав реакционной смеси.

В результате проделанной работы были получены блок-сополимеры различного состава и архитектуры, которые были охарактеризованы с помощью гель-проникающей хроматографии, которая показала, что в широком диапазоне молекулярных масс (от 20 до 100 кДа) полидисперсность сохраняется на уровне ниже 1,3, что является важным показателем для проведения экспериментов по изучению надмолекулярной структуры блок-сополимеров.

Для проведения экспериментов по изучению надмолекулярной структуры были изготовлены как объемные образцы и тонкие пленки с помощью различных растворителей. Методом дифференциально-сканирующей калориметрии и рентгеноструктурного анализа исследованы термическое поведение и надмолекулярная структура полученных соединений. Исследуемые блок-сополимеры имеют упорядоченную структуру в виде ламелей, толщина которых зависит от молекулярной массы и объемного соотношения блоков.

### Благодарность

Работы при поддержке гос. задания № FFSG-2024-0017.

УДК 675.043.84: 539.612:677.494.742.2

## АДГЕЗИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЛЕНТ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

**Пискарев М.С., Зиновьев А.В., Голубев Е.К., Кечекьян А.С., Гильман А.Б.,  
Кузнецов А.А., Озерин А.Н.**

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва, ул. Профсоюзная, 70  
E-mail: mikhailpiskarev@gmail.com*

Композиционные материалы из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) в виде лент, нитей и тканей находят широкое применение в различных областях техники. Для обеспечения прочного адгезионного контакта СВМПЭ, служащего армирующим материалом, с полимерной матрицей необходима модификация его поверхности. В данной работе исследована возможность создания прочных адгезионных соединений лент СВМПЭ, модифицированных в низкотемпературной плазме, с использованием ряда коммерчески доступных клеев.

Монолитизированные ленты СВМПЭ толщиной 100 мкм получали твердофазным способом по методике, описанной в [1]. Ленты модифицировали в разряде постоянного тока пониженного давления (рабочий газ – воздух,  $P=5-25$  Па, расположение образца – на аноде,  $I=10-50$  мА,  $t=5-60$  с) или в барьерном разряде атмосферного давления ( $W=200-800$  Вт, зазор между электродами 2 мм, скорость протяжки ленты – 3 м/мин). Клеевые соединения СВМПЭ получали в термопрессе (давление 1-3 т, температура – 60-100°C, время выдержки – 20-120с) с использованием различных адгезивов: полиуретановых - УР-600 (Рогнеда, РФ), Уран (НОВБЫТХИМ, РФ), Нотарид-101W (Нома, РФ); стирол-изопреновых – Эрготак-431 (Эрготек, РФ); этиленвинилацетатных – Сэвиллен (Сибур, РФ), DA-101 (Dairen, Тайвань); фторполимерных – ФПМ-26-20 (АльфаФтор, РФ); стирол-акриловых – Нотасуyl 107 (Нома, РФ). Соппротивление отслаивания ( $A$ ) полученных клеевых соединений определяли методом Т-теста согласно стандарту ASTM-1876-01. Было установлено, что модификация поверхности лент позволила получить прочные клеевые соединения СВМПЭ со всеми использованными адгезивами с величиной  $A \geq 450$  Н/м.

Значительные увеличения величины  $A$  связаны, по-видимому с образованием на поверхности СВМПЭ по данным РФЭС до 23% кислородсодержащих групп с преобладанием связей С-О. Шероховатость поверхности по данным АСМ при этом изменилась незначительно.

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации, номер темы FFSM-2021-0006.

### **Ссылки**

[1] Голубев Е. К., Высокопрочные пленочные нити, полученные твердофазной переработкой насцентных реакторных порошков сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Куркин Т. С., Озерин А. Н. // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2023. Т. 72. № 3. – С. 749–763.

УДК 544.77.051.13+691.175

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПИРТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ПЕНООБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ И ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

**Полотнянщиков К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Иванов А.Г, Юдин В.Е.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О. 31  
E-mail: konstantin.polotn@gmail.com*

Полиимидные пеноматериалы обладают ценным комплексом свойств: огнестойкостью, криостойкостью, низкой теплопроводностью, химической стабильностью и низкой плотностью [1]. Известны различные методы получения вспененных полиимидов [2], среди которых основное внимание уделяется термическому вспениванию приготавливаемых пенообразующих композиций. Интерес вызывает способ синтеза пенообразующих композиций на основе диэфиров тетракарбоновых кислот, который предполагает образование стабильного форполимерного продукта при взаимодействии диэфиров с диаминами в спиртовом растворе [2]. При этом синтезы форполимеров могут осуществляться в различных спиртах, что должно оказывать влияние на свойства получаемых пеноматериалов, однако в литературе отсутствуют такие сведения. В работе проведен синтез пенообразующих форполимеров основе диангирида 3,3',4,4'-бензофенонтетракарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксида (в метиловом, этиловом и изопропиловом спиртах) и пенополиимидов на их основе. Показано, что использование различных спиртов при получении диэфиров влияет на свойства образующихся пенополиимидов: использование ряда метанол-этанол-изопропанол приводит к снижению плотности материала (от 9,15 до 7,41 кг/м<sup>3</sup>), а также оказывает влияние на их механические свойства. Наиболее эластичным является материал, полученный в этаноле (17,5% - деформация при разрушении, модуль упругости – 39 кПа), наиболее жестким – в метаноле (11,0% - деформация при разрушении, модуль упругости – 130 кПа). Таким образом использование метанола приводит к образованию жесткого пеноматериала, а этанола - более эластичного.

### Благодарность

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.

### Ссылки

- 1] Ye, W. 3D Printing of Continuous Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Polyimide / W. Ye, G. Lin, W. Wu, P. Geng, X. Hu, Z. Gao, J. Zhao // Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. – 2019. Vol. 121. – P. 457-464.
- [2] Gu, W. Polyimide-based foams: fabrication and multifunctional applications / W. Gu, G. Wang, M. Zhou, T. Zhang, G. Ji // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2020. Vol. 12, № 43. – P. 48246-48258.

УДК 67.017

## ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗ В ОТВЕРЖДАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ ПОЛИЛАКТИД – ЭПОКСИДНЫЙ ОЛИГОМЕР

Плюснина И.О., Шапагин А.В.

*ИФХЭ РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4*

*E-mail: IrinaPlyusninaR@yandex.ru*

Для получения композиционных материалов с требуемыми физико-механическими свойствами необходимо формирование заданного типа фазовой структуры. Ранее нами была разработана методика определения критического концентрационного параметра системы, определяющего концентрационные диапазоны всех типов фазовой структуры, формирующейся в материале (матрица-дисперсия, взаимопроникающие фазы (ВПФ) и матрица-дисперсия с инвертированной фазовой структурой). Методика была апробирована на системе поликапролактон (ПКЛ) – эпоксидный олигомер (ЭД-20), где в качестве отвердителя был выбран 4,4'-диаминдифенилсульфон (ДДС). Система при отверждении описывалась фазовой диаграммой с нижней критической температурой смешения (НКТС), что позволило комплексно изучить особенности структурообразования для систем данного типа. С целью изучения особенностей формирования фазовой структуры системы, характеризующейся верхней критической температурой смешения (ВКТС) и подтверждения разработанной нами методики была выбрана система полилактид (ПЛА) – ЭД-20. ПЛА, как и ПКЛ является биоразлагаемым частично кристаллическим термопластом.

Цель работы заключается в комплексном исследовании фазовых равновесий, взаимодиффузии и структуры в исходной и отверждающейся системе ПЛА – ЭД-20.

Методом оптической интерферометрии на ОДА-2 (Россия) исследовали совместимость и взаимодиффузия ПЛА с ЭД-20 в диапазоне температур выше температуры плавления ПЛА в диапазоне от 160 до 200 °С. Показано, что компоненты полностью растворимы друг в друге и система ПЛА – ЭД-20 характеризуется достаточно высокой диффузионной подвижностью. Построена диаграмма фазовых состояний, характеризующаяся кристаллическим равновесием. Показано, что с ростом концентрации эпоксида наблюдается депрессия температуры плавления.

По разработанной в лаборатории структурно-морфологических исследований ИФХЭ РАН оригинальной методике с применением оптической интерферометрии определена концентрация, соответствующая центру области обращения фаз диаграммы фазовых состояний. Исследования фазовой структуры отвержденной смеси ПЛА – ЭД-20+ДДС проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на Jeol JSM 6060A (Япония). Показана корреляция рассчитанных концентрационных диапазонов с фазовой структурой отвержденных композиций. Определены размеры фазовых структур исследованных систем и установлено влияние на них физико-химических параметров.

УДК 544.344.3

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ОТВЕРЖДАЮЩЕЙСЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИУРЕТАНОМ

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

*Институт физической химии и электрохимии  
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, г. Москва  
E-mail: [ponomarenhik@gmail.com](mailto:ponomarenhik@gmail.com)*

Эпоксидные смеси – наиболее применяемый тип связующих полимерных композиционных материалов конструкционного назначения. В зависимости от поставленных задач, состав эпоксидных связующих подбирают таким образом, чтобы обеспечивались требуемые технологические и эксплуатационные свойства отвержденных систем. Таким образом, подбор эпоксидных олигомеров позволяет достичь заданных значений вязкости, теплоустойчивости и прочности. Для придания композиции более тонких специфических свойств, таких как липкость, ударная вязкость, пластичность, эпоксидные смолы модифицируют термопластами. В свою очередь, модификация термопластами приводит к формированию гетерогенной фазовой структуры при отверждении эпоксидов. Прогнозирование и регулирование фазовой структуры на основании технологических параметров и физико-химических свойств исходных компонентов остается малоизученным вопросом, особенно в трехкомпонентных отверждающихся системах. В качестве объектов исследования использовали эпоксидный олигомер марки ДГЭБА KER-828 (KUMHO P&V CHEMICALS, Республика Корея), эпокситрифенольный эпоксидный олигомер марки Tactix 742 (Huntsman, США), термопластичный полиуретан марки МК 1185 (ООО «МК-Полимер», Россия) и отвердитель диаминодифенилсульфон (ДДС) марки Aradur 9664 (Huntsman, США). Методом оптической интерферометрии и рефрактометрии исследованы фазовые равновесия и взаимодиффузия в трехкомпонентной смеси эпоксидных олигомеров, модифицированной термопластом. Изучены диффузионные зоны псевдобинарных систем с различным соотношением компонентов и различной степенью конверсии. Определены гомогенная и гетерогенная области тройной диаграммы фазовых состояний отвержденной смеси эпоксидных олигомеров и термопластичного полиуретана. Изучена эволюция бинальной кривой тройной диаграммы фазовых состояний в процессе отверждения трехкомпонентной системы. Методом сканирующей электронной микроскопии исследована структура отвержденных эпоксиполиуретановых смесей. Прослежена корреляция фазовой структуры отвержденных систем с концентрационными областями диаграммы фазовых состояний при предельных степенях конверсии эпоксидных групп.



## ВЛИЯНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ АЛКАНОВ НА ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ СТИРОЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ БЛОК СОПОЛИМЕРОВ

Алматова И.С., Беляева Н.О., Сухарева К.В., Попов А.А.

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Стремянный пер., 36  
E-mail: Almatova.is@rea.ru

В данной работе рассматривалось влияние введения различных концентраций модификатора (полихлорированный алкан) на термостойкость и окислительную стабильность стирол-бутадиен-стирольного блок сополимера (СБС). В матрицу СБС из раствора вводился полихлорированный алкан брутто формулой  $C_{30}H_{38}Cl_{24}$  с содержанием связанного хлора 70% в количестве 2, 5, 10 и 15 мас.%. С применением ИК Фурье спектроскопии (метод НПВО) было проведено сравнение химического состава исходных образцов СБС до и после стадии термоокисления ( $70^{\circ}C$ ) и УФ-облучение. Степень окисления образцов оценивали по отношению оптических плотностей полос поглощения  $1716\text{ см}^{-1}$  и  $699\text{ см}^{-1}$  (рисунок 1а, б). Согласно полученным данным, введённый в количестве 2 и 5 мас. % модификатор обладает свойствами ингибитора термоокисления. При всех концентрациях модификатор оказывает воздействие на СБС в качестве противостарителя за счет торможения реакции фотоокисления.

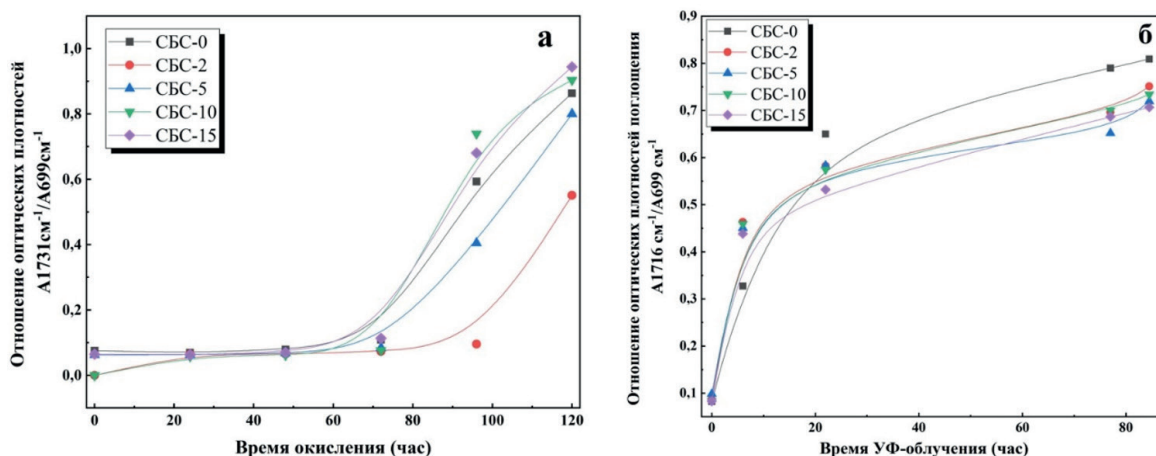


Рисунок 1. Кинетика окисления эластомерных композитов на основе СБС-эластомеров:  
а - термостатирование при температуре  $70^{\circ}C$ ; б- УФ-облучение

С помощью метода термогравиметрического анализа было установлено, что введение модификатора в количестве 2 мас.%. повышает термостабильность СБС. Температура начала разложения увеличивается до  $262^{\circ}C$  (увеличение на  $57^{\circ}C$ ), а максимальная температура разложения повышается с  $463$  до  $467^{\circ}C$  (таблица 1).

	СБС	СБС-2	СБС-5	СБС-10	СБС-15
Температура начала разложения	205	262	255	248	222
Максимальная температура разложения	463	467	467	466	460

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РЭУ им Г. В. Плеханова.

УДК: 544.03

## ВЛИЯНИЕ ГИБКОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Селезнева Л.Д.<sup>1,2</sup>, Вайшбейн Л.И.<sup>2</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>1,2</sup>, **Попов А.А.**<sup>1,2</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук

email: seleznyova.ludmila@yandex.ru

Рассмотрена зависимость механических свойств от состава бинарных смесей полимолочной кислоты (ПМК) с сополимером бутиленадипата и бутилтерефталата (ПБАТ, >50% бутиленадипатных звеньев) или сополимера этилена и винилацетата (СЭВА, 28% винилацетатных звеньев).

ПБАТ и СЭВА представляют собой гибкоцепные полимеры с высокой подвижностью цепей за счет содержания бутиленадипатных и винилацетатных звеньев, соответственно. Резкое снижение прочности при разрыве при добавлении ПБАТ или СЭВА (до 40 мас.%) в ПМК (в 1,6 и 1,5 раза, соответственно) можно объяснить снижением интегральной жёсткости систем (рис. 1). Далее прочность остается практически постоянной: 10 МПа для смеси ПМК/ПБАТ и 5 МПа для ПМК/СЭВА.

По зависимостям показателей механических свойств от соотношения полимеров в смеси можно отследить диапазоны обращения фаз: 10-20 мас.% ПМК – непрерывная фаза (ПБАТ или СЭВА) и фаза включения (ПМК), 30-70 мас.% ПМК – обе фазы непрерывные, 80-90 мас.% ПМК – непрерывная фаза (ПМК) и фаза включения (ПБАТ или СЭВА).

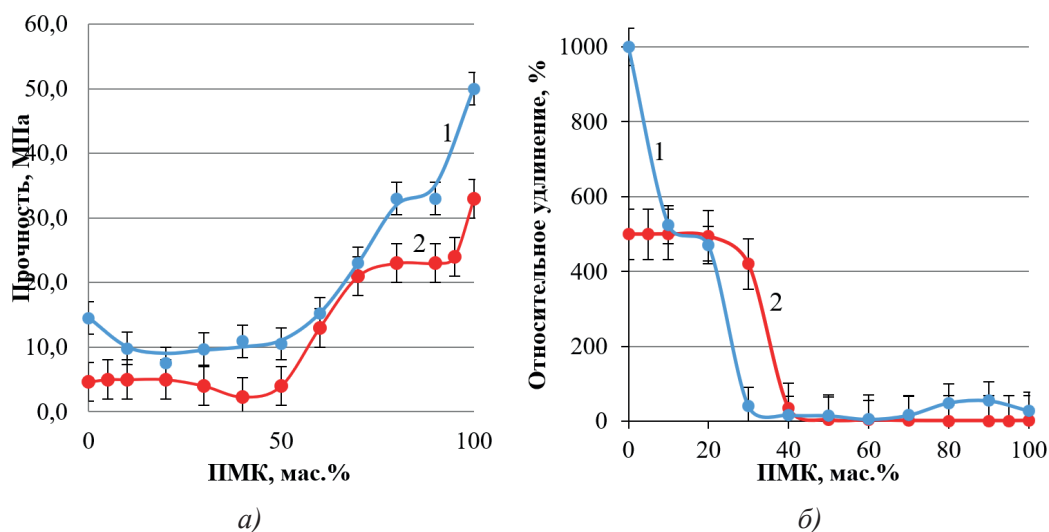


Рисунок 1 – Зависимость показателя прочности (а) и относительного удлинения при разрыве (б) от состава смесей ПМК/ПБАТ (кривая 1) и ПМК/СЭВА (кривая 2)

УДК541.64:539.199

**ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АЛКЕНОВ НА КАТАЛИЗАТОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ  
ИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ СОСТАВА  
[2L•M@ди-бензо-18-к-6]<sup>+</sup>[TiCl<sub>5</sub>•L]<sup>-</sup> (L- CH<sub>3</sub>CN, M- Li<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>)**

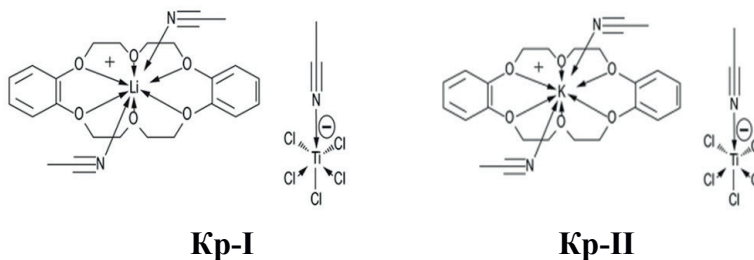
**Ришина Л.А.<sup>1</sup>, Kissin Y.V.<sup>2</sup>, Лалаян С.С.<sup>1</sup>, Крашенинников В.Г.<sup>1</sup>, Заболотнов А.А.<sup>1</sup>,  
Тускаев В.А.<sup>3</sup>, Гагиева С.Ч.<sup>3</sup>, Булычев Б.М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва, E-mail [rishina@polymer.chph.ras.ru](mailto:rishina@polymer.chph.ras.ru)

<sup>2</sup>Rutgers, The State University of New Jersey, Department of Chemistry and Chemical Biology, Piscataway, NJ, USA, E-mail: [ykissin@scarletmail.rutgers.edu](mailto:ykissin@scarletmail.rutgers.edu)

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова 119992  
Москва, E-mail: [b.bulychev@highp.chem.msu.ru](mailto:b.bulychev@highp.chem.msu.ru)

Изучены реакции полимеризации этилена, пропилена и сополимеризации этилена с октен-1 на новом типе пост-металлоценовых катализаторов, содержащих ионные комплексы состава [2CH<sub>3</sub>CN•M@ди-бензо-18-краун-6]<sup>+</sup>[TiCl<sub>5</sub>•CH<sub>3</sub>CN]<sup>-</sup>, где M = Li (**Кр-1**) и M = K (**Кр-2**).



В качестве сокатализатора использовали бинарный активатор Al(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>Cl/Mg(C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>2</sub> при соотношении [Al]:[Mg] ~3. Получены линейный кристаллический ПЭ и сополимеры этилена с октен-1 (Э/О сополимеры), которые содержат ~2 – ~4 мол. % октена-1 в случае полимеризации на **Кр-I** и 3.5 – 9 мол. % при полимеризации на **Кр-II**. Выход ПЭ составил 5200 и 2830 кг·(моль<sub>Ti</sub>·ч)<sup>-1</sup>, а выход Э/О сополимеров в зависимости от состава мономерной смеси ~1800 – ~3300 и ~2500 – ~3200 кг·(моль<sub>Ti</sub>·ч)<sup>-1</sup> на **Кр-I** и **Кр-II**, соответственно (T=50 °C, P<sub>E</sub>=5.6 атм). По данным ЯМР <sup>13</sup>C, молекулы октена-1 в сополимерах представлены, главным образом, изолированными звеньями в ~ЭЭОЭЭ~ последовательностях. Распределение мономерных звеньев в цепях Э/О сополимеров является, в основном, статистическим (r<sub>1</sub>r<sub>2</sub> = 0.8 – 1.0.). Э/О сополимеры имеют широкое ММР и неоднородное распределение по составу подобно сополимерам, синтезированным на классических катализаторах Циглера–Натта и многих системах пост-металлоценового типа.

Катализаторы проявили низкую эффективность в реакции полимеризации пропилена. Продуктом реакции является практически аморфный атактический ПП, в котором фракция, растворимая в кипящем гептане, составляет ~90%.

**Благодарность**

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований Российской Федерации и поддержана Российским Научным Фондом (Проект № 23-13-00089).

УДК 541.64:539.199

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА НА БИС(ИМИНО)ПИРИДИНОВЫХ КОМПЛЕКСАХ  $\text{CoCl}_2$  И  $\text{FeCl}_2$ 

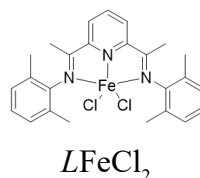
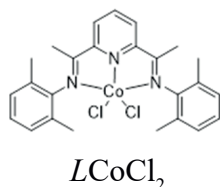
**Ришина Л.А.<sup>1</sup>, Kissin Y.V.<sup>2</sup>, Лалаян С.С.<sup>1</sup>, Антонов А.А.<sup>3</sup>,  
Крашенинников В.Г.<sup>1</sup>, Гулин А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики  
им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Москва, E-mail: rishina@polymer.chph.ras.ru

<sup>2</sup>Rutgers, The State University of New Jersey, Department of Chemistry and Chemical Biology,  
Piscataway, NJ, USA, E-mail: ykissin@scarletmail.rutgers.edu

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова»  
Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск,  
E-mail: antonov@catalysis.ru

Изучены реакции полимеризации этилена на комплексах  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{FeCl}_2$  с N,N,N-тридентатным лигандом, 2,6-бис[1-(2,6-диметилфенилимино)этил]пиридин (*L*).



В качестве активаторов использовали полиметилалюмоксан (MAO) и бинарный сокатализатор  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$  при мольном отношении  $[\text{Al}]:[\text{Mg}]\sim 3$ . Цель работы – исследование влияния активаторов на активность комплексов в реакции полимеризации этилена и основные характеристики получаемого ПЭ.

Каталитические системы на основе  $L\text{CoCl}_2$  при использовании обоих активаторов эффективно полимеризуют этилен в диапазоне температур 25–50°C. Выход ПЭ на  $L\text{CoCl}_2$  составил 9900 и 5270 кг/(моль<sub>Co</sub>·C<sub>3</sub>·ч)<sup>-1</sup> с MAO и  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$ , соответственно. Получен кристаллический ( $\chi=65\%$ ) низкомолекулярный ( $M_w=1500–2000$ ) ПЭ с винильными двойными связями.

Активность систем на основе  $L\text{FeCl}_2$  в аналогичных условиях существенно ниже: 2000 и 400 кг/(моль<sub>Fe</sub>·C<sub>3</sub>·ч)<sup>-1</sup> с MAO и  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$ , соответственно. Полимер, полученный с использованием MAO, также является линейным кристаллическим ПЭ с низкой ММ ( $M_w=3500$ ). Молекулярная масса ПЭ, синтезированного на  $L\text{FeCl}_2$ , активированном  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$ , существенно выше ( $M_w=140000–270000$ ).

Системы на основе комплексов  $L\text{CoCl}_2$  и  $L\text{FeCl}_2$  с MAO в качестве активатора являются типичными гомогенными катализаторами, производимые ими полимеры имеют узкое ММР ( $M_w/M_n \approx 2$ ). Те же самые комплексы при использовании  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_9)_2$  превращаются в многоцентровые катализаторы и образуют ПЭ с широким ММР ( $M_w/M_n \approx 3–11$ ), подобно нанесенным катализаторам полимеризации алкенов на основе Ti.

**Благодарность**

Авторы благодарны М.А. Мацько (ФИЦ ИК СО РАН) за ГПХ анализ полимеров. Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований Российской Федерации.

УДК 541.515:544.773.3

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СУСПЕНЗИОННУЮ ПОЛИМЕРИЗАЦИЮ Н-БУТИЛМЕТАКРИЛАТА

**Рошин Д.Е., Патлажан С.А.**

*ФИЦ ХФ РАН, Москва, ул.Косыгина, д.4  
E-mail: roschin.d.e@mail.ru*

Суспензионная полимеризация является важным промышленным и лабораторным методом получения широкого спектра полимерных продуктов. Обязательным условием проведения суспензионной полимеризации является быстрое и эффективное диспергирование мономера в дисперсионной среде. Одним из методов создания эмульсий мономера является воздействие на двухфазную среду ультразвуковым диспергатором, при котором измельчение дисперсной фазы происходит за счет энергии ультразвуковых колебаний. Когда давление в жидкости превышает давление насыщенного пара, могут образовываться кавитационные пузырьки. В таких пузырьках локальное давление и температура достигают весьма больших значений, вследствие чего становится возможным распад молекул пара с образованием активных радикалов (кавитационных радикалов), способных влиять на протекание полимеризации в каплях мономера.

В данной работе экспериментально и с методами кинетического моделирования исследовался процесс суспензионной полимеризации н-бутилметакрилата в поле ультразвука. Была предложена кинетическая модель неизотермической полимеризации, которая явно учитывала влияние кавитационных радикалов на скорость полимеризации и молекулярно-массовые характеристики синтезируемых полимерных цепей. Обнаружено, что рост концентрации кавитационных радикалов существенно ускоряет процесс полимеризации. При этом существенно сокращается индукционный период на кинетической кривой, связанный с постепенным разогревом реакционной смеси под действием ультразвука. Было также установлено, что рост концентрации кавитационных радикалов приводит к существенному снижению как индекса полидисперсности, так и среднечисленной длины цепи образующихся полимеров.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования России № FFZE -2022-0010 и госзадания ФИЦ ПХФ и МК № 124013000760-0.

УДК 678.01

## НАПРАВЛЕННАЯ ОБЪЕМНАЯ МОДИФИКАЦИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭКСТРУЗИОННОМ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИИ ПОЛИМЕРОВ

Доронин Ф.А., Рудакова А.В., Рытиков Г.О., Назаров В.Г.

*Московский политехнический университет, Москва, ул. Большая Семеновская, 38*

*E-mail: f.a.doronin@mospolytech.ru*

Экструзионная 3D-печать по FFF-технологии является одной из наиболее перспективных форм аддитивного производства, так как обладает рядом известных достоинств, к которым, в частности, относятся отсутствие потери материала в процессе формования изделий и низкая себестоимость филамента (полимера-основы). Вместе с тем, пригодные для практической реализации технологий аддитивного прототипирования полимеры в подавляющем большинстве случаев существенно уступают по ряду механических, электрических, триботехнических и иных свойств материалам, из которых изготавливают традиционные изделия (корпусные детали, зубчатые колеса, уплотнительные кольца и т.д.). В рамках настоящей работы разработаны с использованием функционально-структурного моделирования и объемного (углеродными нанотрубками, монтмориллонитом и др.) структурирования термопластичные полимерные материалы (филаменты) на основе полиэтилентерефталатгликоля, полилактида и др., компоненты и изделия на их основе для экструзионной 3D-печати, используемые для создания прототипов и мелкосерийного выпуска деталей и изделий с комплексом улучшенных, превосходящих аналоги, функциональных свойств для различных отраслей промышленности. Методами математического моделирования получены и охарактеризованы морфологические спектры СЭМ-изображений структурированных филаментов и установлена взаимосвязь структурных изменений в системе «нанолитер-полимерная матрица» с диэлектрическими, триботехническими, адгезионными и физико-механическими свойствами композитных филаментов. Введение в полимерную матрицу филаментов углеродных нанотрубок позволило повысить электропроводность полученных композитов в 10 раз без снижения физико-механических свойств в сравнении с промышленными аналогами.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание FZRR-2023-0003).



УДК 661.742.14

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

**Руденко Ю.Г.<sup>1,2</sup>, Просьянкин Е.Е.<sup>1,2</sup>, Мустафина А.Р.<sup>1,2</sup>, Федякова Н.В.<sup>1</sup>, Чапала П.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9.

<sup>2</sup> ООО «ХАРЦ Лабс», ул. 3-я Хорошёвская, д.13, к.1, 123298, Москва, Россия

E-mail: y.rudenko@harzlabs.ru

Постоянно растущие требования к материалам являются причиной развития ряда аддитивных технологий, такой как фотополимеризация в ванне. Широкий диапазон свойств получаемых изделий является основной причиной, благодаря которым они применяются в разных сферах: от медицинских изделий до аэрокосмической отрасли. Только проводя обработку в специальных камерах, сочетающих в себе мощное УФ излучение и повышенную температуры, возможно достижение конечных эксплуатационных свойств [1]. Интересным представляется изучение влияния мощности УФ излучения и температуры на физико-механические свойства. Для этого был синтезирован олигомер на основе толуилендиизоцианата, полипропиленгликоля ( $M_w = 500$ ) и 2-гидроксипропилакрилата. Для подготовки образцов и исследования свойств использовались камеры Wanhao Voxman-1 ( $\lambda=405$  нм; 40 мВт/см<sup>2</sup>), FormCure ( $\lambda=405$  нм; 15 мВт/см<sup>2</sup>, T = от 30 до 70 °C) и универсальная разрывная машина Hongtuo TM2101.

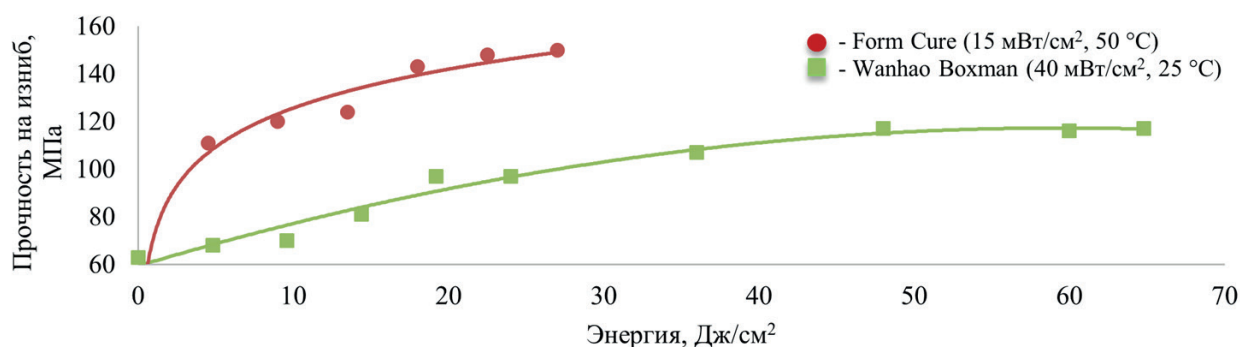


Рис. 1. Влияние мощности УФ излучения и температуры на физико-механические свойства.

Оказалось, что снижение мощности с 40 до 15 мВт/см<sup>2</sup> и повышение температуры до 50°C привело к повышению прочности материала от 117 до 150 МПа. Следовательно, на эффективность постобработки большое влияние оказывает температура. Поэтому, при подборе режимов постобработки для достижения наилучших свойств изделий важно учитывать и подбирать оба этих параметра.

### Ссылки

1. Štaffová M., Ondreáš F., Svatík J., Zbončák M., Jančář J., Lepcio P. 3D printing and post-curing optimization of photopolymerized structures: Basic concepts and effective tools for improved thermomechanical properties // Polymer Testing. – 2022. – Т. 108. – С. 107499.

УДК 541.64, 547-305.1

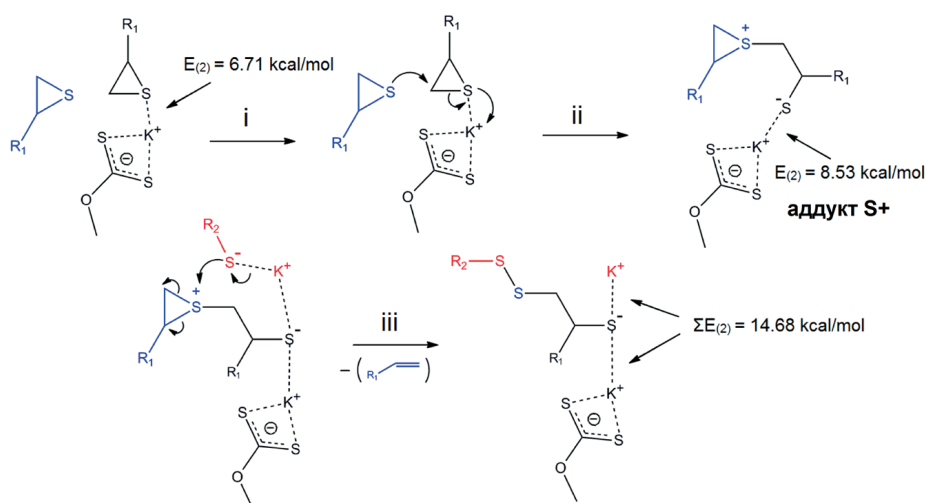
## НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛИАЛКИЛЕНСУЛЬФИДОВ

Румянцев М.С., Калагаев И.Ю., Румянцев С.С.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

E-mail: rumih@mail2k.ru

Полимеры с высоким содержанием серы, такие как полиалкиленсульфиды (ПАС), являются перспективной платформой для разработки композиционных и оптических материалов со специальными свойствами, сорбентов, активных компонентов каталитических систем. До недавнего времени отсутствовал практичный, надежный и масштабируемый метод получения высокомолекулярных ПАС, что тормозило развитие указанных направлений. Метод полимеризации эписульфидов, основанный на использовании ксантогенатов калия в качестве активаторов позволил решить эти проблемы. Характерными особенностями процесса являются чрезвычайно высокие скорости полимеризации, сравнительно низкие значения  $\bar{D}$ , в том числе для полимеров полученные при высоких степенях конверсии мономера и завышенные значения экспериментальных  $M_n$  по сравнению с расчетными (в 6-10 раз при  $[M]_0/[K\text{ксантат}]_0 = 100$ ). В ходе изучения механизма нового метода полимеризации эписульфидов было установлено, что ксантаты и родственные соединения могут действовать не только как традиционные анионные инициаторы, но и как катализаторы процесса полимеризации, что приводит к существенному повышению скорости роста. Кроме этого был установлен новый механизм образования дисульфидных связей в цепях высокомолекулярных ПАС (Рисунок), протекающий через промежуточное образование цвиттерийонного аддукта  $S^+$ . Принципиальная роль ксантата в этом процессе, заключается в предоставлении атома калия атомам серы активных компонентов системы, образуя одновременно как активирующие, так и стабилизирующие комплексы донорно-акцепторного типа.



## Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №23-23-00554)

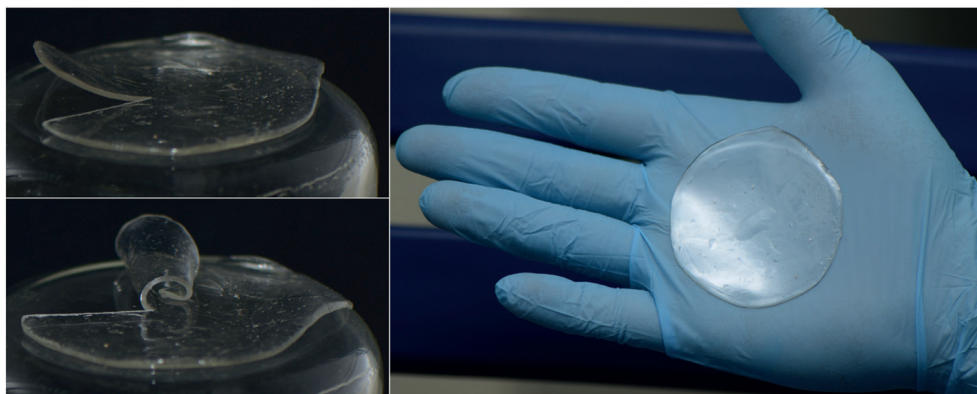
УДК 541.64, 547-305.1

## САМОЗАЖИВЛЯЮЩИЕСЯ ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАЛКИЛЕНСУЛЬФИДОВ

Румянцев М.С., Калагаев И.Ю., Румянцев С.С.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
E-mail: rumih@mail2k.ru*

Оптические материалы, такие как микролинзы и ламинирующие пленки, характеризующиеся повышенным показателем преломления, а также исключительной гидрофобностью и низкой газопроницаемостью являются перспективной областью применения серосодержащих полимеров. Такие материалы должны обладать исключительной прозрачностью и в то же время быть бесцветными, что является крайне редким случаем для полимеров с высоким содержанием серы. Полученные нами по оригинальной методике высокомолекулярные полиалкиленсульфиды, являются резиноподобными бесцветными пленкообразующими материалами. Последующий анализ выявил исключительную прозрачность полученных пленок, превышающую 99%. Отличительной особенностью одного из таких полимеров – высокомолекулярного полипропиленсульфида ( $M_n > 100$  кг/моль) является выраженная способность к самовосстановлению, например, после разреза (Рисунок 1). Самовосстановление не требует нагрева и занимает в зависимости от толщины материала и степени повреждения (царапина/прокол/порез) от 24 часов до нескольких суток. При этом в большинстве случаев восстановленные материалы не имеют остаточных видимых дефектов. В связи с этим особый практический интерес представляет использование таких полимеров в качестве герметизирующих (связывающих) гидрофобных материалов, в том числе входящих в состав композиционных материалов и многослойных оптических покрытий. Полученные серосодержащие полимеры способны заполнять микронеровности, трещины и дефекты подложки и при необходимости обеспечивать исключительные оптические свойства.



**Рисунок 1.** Образец пленки высокомолекулярного полипропиленсульфида с полностью восстановленной целостностью после разреза.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №23-23-00554)

УДК:541.67:536.7:536-36

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

**Русинова Е.В., Вшивков С.А.**

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, ул. Мира, д.19  
E-mail: elena.rusinova@urfu.ru*

Водорастворимые полимеры-полиэлектролиты привлекают к себе внимание вследствие уникальности их свойств и возможности широкого практического применения. Основные свойства этих полимеров: растворимость в водных средах; способность эффективно взаимодействовать с заряженными частицами и поверхностями и изменять свойства при воздействии электромагнитных полей; способность адсорбироваться на незаряженных частицах, сообщая им заряд; устойчивость к химическим и биологическим воздействиям. Одним из подобных полимеров является поливинилпирролидон (ПВПд).

Целью настоящей работы явилось исследование реологических свойств водных растворов ПВПд (производство SERVA) в постоянном магнитном поле с напряженностью 3,7 кЭ. Молекулярная масса образца составляла 25 кДа. Измерения вязкости растворов ПВПд проводили с помощью реометра Rheotest с измерительной системой цилиндр-цилиндр. Силовые линии постоянного магнитного поля были направлены перпендикулярно оси вращения ротора. Скорость сдвига равномерно увеличивали от 0 до 100 с<sup>-1</sup> в течение 5 минут. Предварительно оценивали величину тормозящего электромагнитного момента по зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига при вращении незаполненного раствором рабочего узла в магнитном поле. Перед проведением измерений вязкости в магнитном поле и в его отсутствие растворы помещали в измерительный узел и выдерживали 20 минут.

Обнаружено, что реологические кривые исследованных растворов имеют вид, характерный для неньютоновских вязкопластичных систем. Выдерживание растворов в магнитном поле приводит к росту начальной вязкости в три-четыре раза. Рост вязкости связан с изменением движения макромолекул под действием силы Лоренца и с ориентацией макромолекул относительно силовых линий магнитного поля, обусловленной их диамагнитной анизотропией. Полученные результаты трактуются с точки зрения существования в растворах ПВПд гидрофильно-гидрофобной гидратации и флуктуационной сетки зацеплений макромолекул. Впервые для растворов полимеров рассчитаны концентрационные зависимости энтальпии активации течения ( $\Delta H_{\text{вязк}}$ ) растворов ПВПд в постоянном магнитном поле. Обнаружено существенное повышение величины  $\Delta H_{\text{вязк}}$  для растворов ПВПд в магнитном поле.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПТФЭ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

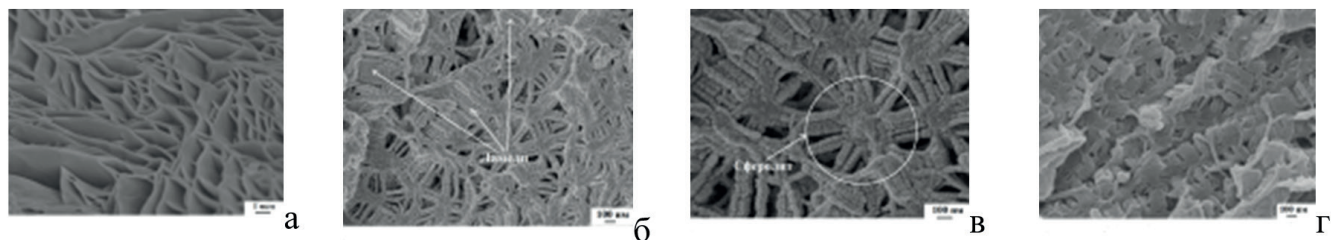
**Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Хатилов Р.С.<sup>2</sup>, Авиллов А.С.<sup>1</sup>, Хатилов С.А.<sup>2</sup>, Бузник В.М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Курчатовский комплекс «Кристаллография и фотоника»,  
НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Ленинский проспект, 59

<sup>2</sup> ООО «НПП «Арфлон», Москва, 1-ый Вешняковский проезд, д. 2, стр. 1

<sup>3</sup> Институт общей и неорганической химии  
им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Ленинский проспект, 31  
nataly\_sadovska@mail.ru

Изменение микроstructures, направленное на блокирование внутриламеллярного скольжения, оказывает значительное влияние на деформационные свойства ПТФЭ. Возможность подобного изменения была подтверждена с использованием радиационного модифицирования ПТФЭ выше температуры плавления кристаллитов [1]. В настоящей работе проведено исследование влияния обработки ПТФЭ в ск-среде выше температуры плавления на микроstructure, формирующуюся в процессе последующей кристаллизации, и характеристики фазовых переходов. Исследовали частицы порошка полимеризата ПТФЭ, а также блочные спеченные образцы. В качестве ск-среды использовали двуокись углерода (ск-СО<sub>2</sub>) и перфтороктан (ск-ПФО). Образцы выдерживали в ск-среде в течение 12, 24, 48 и 60 часов при 365 °С, давлениях от 8 до 90 МПа с последующим охлаждением и неизотермической кристаллизацией в ск-среде, либо при атмосферном давлении после удаления растворителя. Показано, что независимо от условий кристаллизации в ск-среде теплоты плавления и кристаллизации необратимо увеличиваются в 1.5–2 раза, по сравнению со значениями для исходного ПТФЭ. Сделан вывод о том, что рост кристалличности связан с необратимым изменением микроstructures расплава ПТФЭ в ск-среде.



**Рисунок 1.** РЭМ-изображения микроstructures ПТФЭ в зависимости от условий обработки:  
а – обработка в ск-СО<sub>2</sub>, 365 °С, 60 МПа, 24 час; б, в – ск-ПФО, 365 °С, 8 МПа, 48 час, г – ск-СО<sub>2</sub>,  
365 °С, 60 МПа, 24 час. Охлаждение и кристаллизация в ск-среде.

### Благодарность

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

### Ссылки

[1] Khatipov S.A., Serov S.A., Sadovskaya N.V., Konova E.M. // Rad. Phys. Chem. – 2012. – V. 81. – №3. – P. 256-262.



## ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КОМПОЗИТАХ ПТФЭ: ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ И ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ НАПОЛНИТЕЛЯ

**Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Хатипов Р.С.<sup>2</sup>, Авиллов А.С.<sup>1</sup>, Хатипов С.А.<sup>2</sup>**

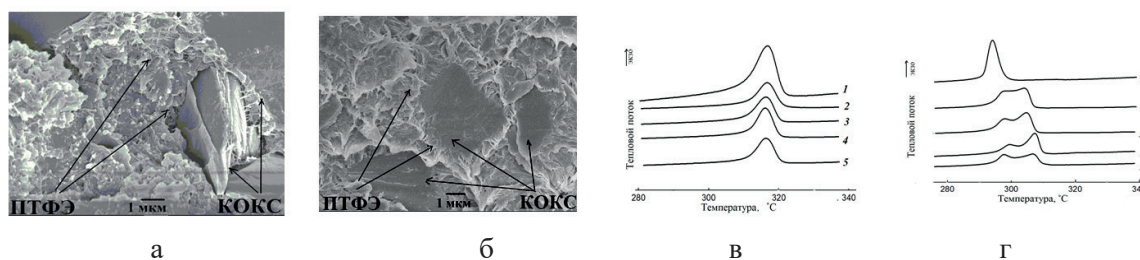
<sup>1</sup> Курчатовский комплекс «Кристаллография и фотоника»,

НИЦ Курчатовский институт, Москва, Ленинский проспект, 59

<sup>2</sup> ООО «НПП «Арфлон», Москва, 1-ый Вешняковский проезд, д. 2, стр. 1

E-mail: nataly\_sadovska@mail.ru

Одной из проблем композитов ПТФЭ является их высокая пористость, возникающая из-за отсутствия смачиваемости частиц наполнителя полимерной матрицей ПТФЭ. Ранее нами было показано, что воздействие гамма-облучения выше температуры плавления ПТФЭ приводит к усилению межфазного взаимодействия, что качественно иллюстрировалось данными растровой электронной микроскопии (РЭМ). На электронных изображениях был виден отчётливо переход от пористой к плотной структуре, связанный с исчезновением зазоров на межфазных границах и смачиванием наполнителя полимером (рис. 1а, б). Целью настоящей работы было получение количественных доказательств усиления межфазного взаимодействия в гамма-облученных композитах ПТФЭ с порошковыми наполнителями (углеволокно, стекловолокно, кокс) при концентрации 5–30 масс.% на основе анализа аддитивности значений плотности и характеристик фазовых переходов. Показано, что гамма-облучение (50–200 кГр) оказывает значительное влияние на характеристики фазовых переходов. В необлученных композитах независимо от типа и концентрации наполнителя появляется один пик кристаллизации (рис. 1в), свидетельствующий о существовании одной кристаллической фазы. В облученных композитах независимо от дозы облучения появляется второй пик (рис. 1г), возникновение которого объясняется усилением адгезионного взаимодействия полимера с частицами наполнителя и формированием второй кристаллической фазы вблизи поверхности наполнителя, имеющей более высокую температуру кристаллизации. При этом частицы наполнителя выступают в качестве центров нуклеации в процессе кристаллизации.



**Рисунок 1.** РЭМ-изображения (а, б) и термограммы кристаллизации (в, г) исходных и гамма-облученных композитов ПТФЭ с различным содержанием кокса, масс. %: 1– 0, 2 – 5, 3–10, 4–20, 5–30.

### Благодарность

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



УДК 541.64:66.095.26

## МАКРОИНИЦИАТЫ В СИНТЕЗЕ ПОЛИУРЕТАНОВ АРОМАТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

**Сазонов О.О., Мухамадеев И.М., Пупышева У.А., Давлетбаева И.М.**

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, ул. Карла Маркса 68  
E-mail: sazonov.oleg2010@mail.com*

Полиуретаны известны как полимеры, на базе которых можно создать материалы с широким диапазоном технических свойств. Изменяя химическую природу исходных компонентов можно получать как ударопрочные пластики, так и эластомеры. Один из путей влияния на химическое строение и морфологию полиуретанов, основан на использовании для их синтеза комплексообразующих систем, основным элементом которых являются ионы переходных металлов.

Известно, что природа полимера и ионов переходных металлов, а также их соотношение и уровень взаимодействия определяют изменение свойств координационно-связанных полимеров. В случае использования металлокомплексов для модификации или структурирования линейных полиуретанов возможно получение полимерных электролитов, приводов, датчиков и других устройств.

Фундаментальное и практическое значение имеет создание в уретановых эластомерах жестких блочных структур, состоящих исключительно из звеньев ароматической природы. Такие ароматические полиуретаны (АПУ) проявляют высокие прочностные и адгезионные характеристики, стойкость к воздействию кислотных, щелочных и углеводородных сред. Наиболее доступным соединением для их получения является симметричный 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропан. Согласно литературным данным, реакции 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана с ароматическими и алифатическими изоцианатами характеризуются низкими константами скоростей реакции, а для увеличения скорости таких реакций используются третичные амины или оловоорганические соединения.

Путем каталитического воздействия макроинициатора на реакцию 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана с 4,4'-дифенилметандиизоцианатом и его полифункциональными производными получены ароматические полиуретаны с каркасной макромолекулярной структурой.

Показано, что ароматические полиуретаны каркасной структуры проявляют высокую стойкость к воздействию углеводородных сред, высокую механическую прочность и теплостойкость в сравнении с сегментированными ароматическими полиуретанами.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке программы академического лидерства «Приоритет 2030».

УДК 544,7

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ  $\text{TiO}_2/\text{Au}$   
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ХИТОЗАНОМ****Шелудько П.Н., Саломатина Е.В., Смирнова Л.А.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.  
Лобачевского, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина 23  
E-mail:sheludko2014@yandex.ru*

В настоящее время фотокаталитические свойства  $\text{TiO}_2$  широко используются в реакциях разложения органических загрязнителей сточных вод под действием УФ-излучения. Для усиления свойств  $\text{TiO}_2$  применяются различные методы, основным из которых является легирование его поверхности наночастицами (НЧ) металлов или их оксидов. Целью работы явилось исследование фотокаталитических свойств НЧ диоксида титана анатазной полиморфной модификации, легированных НЧ золота, стабилизированных макромолекулами хитозана (ХТЗ), в реакциях разложения азо-красителей и фенолов в водной среде. НЧ  $\text{TiO}_2$  были получены из  $\text{Ti}(\text{OPr}^i)_4$  золь-гель методом в среде изопропилового спирта. Выявлены условия, позволяющие формировать частицы  $\text{TiO}_2$  размером от 20 до 920 нм. Параллельно в водно-уксуснокислых растворах ХТЗ при УФ-восстановлении  $\text{HAuCl}_4$  были получены НЧ Au со средним размером  $5,0 \pm 0,1$  нм и узким распределением по размерам. При смешивании растворов дисперсий происходила адсорбция НЧ Au на частицах  $\text{TiO}_2$  вследствие высокой удельной поверхности последних и образование агрегативно устойчивых систем благодаря высокой стабилизирующей способности ХТЗ из-за наличия amino- и гидроксильных групп в его звене. Из полученных дисперсий было произведено осаждение образцов с образованием порошков. Исследование спектров диффузного отражения порошкообразных образцов  $\text{TiO}_2\text{-ХТЗ}$  и  $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$ , показало, что величина ширины запрещенной зоны (ШЗЗ)  $\text{TiO}_2$  в них составляет 3.1 и 1.49 эВ, соответственно. Фотокаталитической активности (ФКА) нанокмозитов были исследованы в реакциях разложения метиленового синего (МС) и п-нитрофенола (НФ) в водных растворах при воздействии УФ- и видимого света. Определена оптимальная концентрация нанокмозитов в растворе, обеспечивающая высокую эффективность разложения загрязнителей. Установлено, что активность образцов  $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$  выше, чем у  $\text{TiO}_2\text{-ХТЗ}$ . Так, глубина превращения МС при УФ-облучении его растворов в течение 150 мин составляет 60% и ~ 90%, соответственно. Практически полное разложение НФ в воде при проведении эксперимента в тех же условиях наблюдается за ~ 2 ч. Снижение ШЗЗ  $\text{TiO}_2$  в 2 раза при его легировании НЧ Au обуславливает высокую ФКА композита при действии видимого света; конверсия МС составляет 50% за 180 минут светового воздействия. Таким образом, полученные системы  $\text{TiO}_2/\text{Au-ХТЗ}$  могут быть использованы для обезвреживания органических загрязнителей водных сред.

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 23-74-10069).

УДК 544.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА В РЕДОСК-АКТИВНЫХ МИКРОГЕЛЯХ

**Самodelкин Р.А.**<sup>1,3</sup>, **Сергеев А.В.**<sup>2,3</sup>, **Рудяк В.Ю.**<sup>3</sup>, **Кожунова Е.Ю.**<sup>3</sup>,  
**Чертович А.В.**<sup>2,3</sup>, **Хохлов А.Р.**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФФФХИ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

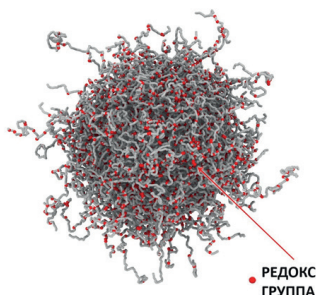
<sup>2</sup> ФИЦ ХФ им. Семенова, Москва, 119991, Россия

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

E-mail: samodelkinat1@mail.ru

Полимерные микрогели, модифицированные редокс-активными функциональными группами (к примеру, ТЕМПО) являются перспективным материалом для новых проточных аккумуляторов. В отличие от растворов линейных полимеров, сшитые полимерные системы позволяют добиться существенно большей концентрации редокс-групп без эффекта запутывания полимерных цепочек, приводящего к критическому повышению вязкости раствора. Из-за того, что лишь функциональные группы на поверхности микрогеля могут непосредственно контактировать с электродом, встаёт вопрос об эффективности использования внутреннего объёма крупных частиц микрогеля. Этот показатель ограничивается скоростью переноса заряда в ядре микрогеля.

В рамках данной работы методами огрублённой молекулярной динамики были смоделированы микрогели и объём сшитой полимерной сетки, представляющей ядро микрогеля. Произведена оценка подвижности функциональных групп и скорости переноса заряда между группами в зависимости от степени сшивки и качества растворителя. На основании анализа процесса диффузии заряда в объёме микрогеля были сделаны оценки характерного времени, необходимого для полного заряда/разряда частицы микрогеля при контакте с электродом. Результаты позволили выдвинуть рекомендации по оптимизации параметров микрогелей для применения в проточных аккумуляторах.



**Рисунок 1.** Характерный вид полимерного микрогеля с редокс-активными функциональными группами (обозначены красным).

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 22-13-00115.

УДК 544.476:661.183.123.2

## НЕОДНОРОДНОСТЬ ПЕКТИНОВЫХ СОРБЕНТОВ

Слободова Д.А., Горшкова Р.М., Гладышев П.П.

ООО «МЕЗОН», Дубна, ул. Программистов, д. 4с3, офис 206

E-mail: dar.slobodova@gmail.com

Обеспечение сырьевой независимости Российской Федерации во многом зависит от отечественного производства биополимеров, в том числе пектиновых полисахаридов для медицины. К медицинским веществам выдвигается ряд требований, одним из которых является чистота. Установлено, что комбинированные методы гидролиз-экстракции и фракционирования при атмосферном и повышенном давлении позволяют получать фракции пектиновых полисахаридов с однородной структурой. При этом отмечается схожая зависимость выхода целевых продуктов, содержания остатков звеньев галактуроновой кислоты и степени её этерификации, значений характеристической вязкости, молекулярно-массовых параметров и сорбционной способности. Успешность совмещения стадий гидролиз-экстракции и фракционирования в комбинированных методах демонстрируется высокой степенью корреляции в рамках логарифмической зависимости уравнения Марка-Куна-Хаувинка и высоким совпадением расчетных и экспериментальных молекулярных масс с низкой полидисперсностью.

Был изучен процесс сорбции изолированными фракциями пектиновых полисахаридов по отношению к нефракционированным образцам и препаратам сравнения. Установлен оптимальный для данных процессов диапазон рН – 3,5-6,0. Выявлено, что максимальной сорбционной емкостью обладают изолированные фракции с большей молекулярной массой и содержанием галактуроновой кислоты. Было установлено, что с увеличением температуры среды сорбционная способность изолированных образцов падает. Рассчитанные значения энтропии системы имеют отрицательные значения, что обусловлено снижением лабильности пектиновой макромолекулы и компактизацией биоматрицы. Значения термодинамических параметров находятся в схожей зависимости по сравнению с выходом и физико-химическими параметрами. Механизм сорбции был изучен с применением моделей Бойда-Адамсона, Морриса-Вебера, Лагергрена и Хо-Маккея. Установлено, что процессы сорбции в пектиновых сорбентах имеют смешанный механизм с диффузией в качестве скоростьопределяющего фактора и химической реакцией взаимодействия сорбата с сорбентом. Выявлена взаимосвязь сорбционной способности от содержания свободной галактуроновой кислоты.

Таким образом, проведенные исследования доказывают неоднородность пектиновой макромолекулы и дают возможность регулировать процесс в сторону получения однородных высокоочищенных пектиновых полисахаридов для медицины.

УДК 678

## НОВЫЕ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСЫ АКРИЛАТОВ С 4-ВИНИЛПИРИДИНОМ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МОНОМЕРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Никитина Е.А.<sup>1,2</sup>, Сорин Е.С.<sup>1</sup>, Баймуратова Р.К.<sup>1</sup>, Джардималиева Г.И.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
Черноголовка, проспект академика Семенова, 1

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>3</sup> Московский авиационный институт, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

E-mail: sorin\_es@mail.ru

Самозаживляющиеся (самовосстанавливающиеся) материалы способны восстанавливать свои первоначальные свойства и функции после повреждений. Развитие подобных систем начиналось с инкапсулирования специальных заживляющих агентов («внешний» механизм заживления), однако такой метод имеет недостаток – однократную способность самовосстановления – после активации заживляющегося агента, содержащегося в капсуле, материал проявлять заживление больше не сможет.

Полимерные же системы могут заживляться по «внутреннему» механизму благодаря наличию в первую очередь обширной системы водородных связей, а также  $\pi$ - $\pi$ -стекинг и ионных взаимодействий, комплексов включения и популярным в последнее десятилетие обратимым координационным взаимодействиям металл-лиганд [1].

Ранее было показано, что включение комплексов с 4'-фенил-2,2':6',2''-терпиридином непосредственно в полимерную цепь улучшает физико-механические свойства полимеров и позволяет добиться автономного внутреннего заживления [2].

В данной работе был получен и охарактеризован различными физико-химическими методами (УФ- и ИК-спектроскопия, РФА, ТГА, ДСК, элементный анализ) новый металлокомплекс акрилата меди с 4-винилпиридином, способный встраиваться в параллельные полимерные цепи, а также синтезированы самозаживляющиеся сополимеры акриламида и акриловой кислоты на его основе.

### Благодарность

Работа выполнена по темам гос. заданий № 124013000757-0, 124013000722-8, 124020800013-7.

### Ссылки

[1] Dzhardimalieva, G.I. Self-healing and shape memory metallopolymers: state-of-the-art and future perspectives / G.I. Dzhardimalieva et al. // Dalton Transactions. – 2020. – Vol. 49, № 10. – P. 3042-3087.

[2] Sorin E. S. New Self-Healing Metallosupramolecular Copolymers with a Complex of Cobalt Acrylate and 4'-Phenyl-2,2':6',2''-terpyridine / Sorin E. S. et al. // Polymers. – 2023. Vol. 15, № 6. – P. 1472.

УДК 678

## МЕТАЛЛОСУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ САМОЗАЖИВЛЯЮЩИЕСЯ СОПОЛИМЕРЫ АКРИЛАМИДА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

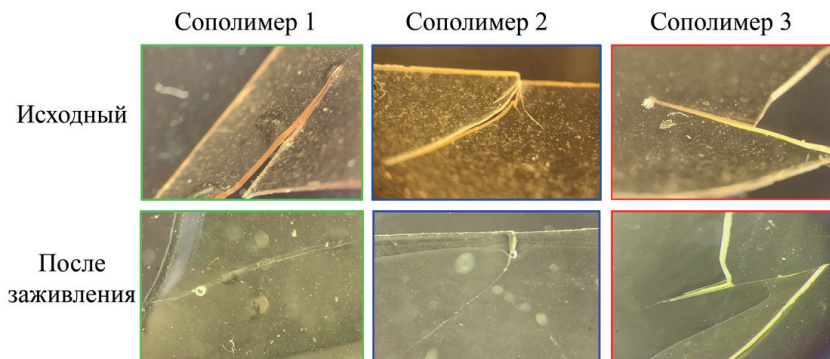
**Сорин Е.С.<sup>1</sup>, Баймуратова Р.К.<sup>2</sup>, Джардималиева Г.И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
Черноголовка, проспект академика Семенова, 1

<sup>2</sup> Московский авиационный институт, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
E-mail: sorin\_es@mail.ru

Самозаживляющиеся полимеры способны восстанавливать свои первоначальные характеристики после повреждений. Одними из наиболее популярных материалов в данном аспекте являются металлополимеры благодаря включению дополнительных обратимых взаимодействий металл-лиганд. При этом в большинстве работ подобные системы получают пропиткой готового полимера солями различных переходных металлов, из-за чего не удается достичь хороших прочностных характеристик.

Данная работа предлагает одностадийный способ получения новых типов самозаживляющихся сополимеров акриламида (ААм), акриловой кислоты (ААс) и металлохелатного мономера на основе 4'-фенил-2,2':6',2''-терпиридина и акрилатов различных переходных металлов [Co(II), Ni(II), Cu(II)]. В работе представлено сравнение сополимеров, содержащих металлокомплекс фенилтерпиридина, с сополимерами, содержащими акрилат металла, а также с модельной системой (со-ААс-ААм). Показано, что включение металлокомплекса непосредственно в полимерную цепь позволяет улучшить механические свойства конечных пленок полимеров, а также приводит к внутреннему автономному заживлению (Рисунок 1) [1].



**Рисунок 1.** Автономное внутреннее самозаживление.

### Благодарность

Работа выполнена по темам гос. заданий № 124013000757-0, 124013000722-8, 124020800013-7.

### Ссылки

[1] Sorin E. S. New Self-Healing Metallosupramolecular Copolymers with a Complex of Cobalt Acrylate and 4'-Phenyl-2,2':6',2''-terpyridine / Sorin E. S. et al. // *Polymers*. – 2023. Vol. 15, № 6. – P. 1472.



УДК 66.095.26

## УЛЬТРАМИКРОПОРИСТЫЕ ПОЛИФЕНИЛЕНА

**Сорокина С.А., Кучкина Н.В., Шифрина З.Б.**

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва, ул. Вавилова, д.28  
E-mail:sorokinas@ineos.ac.ru*

Разработка новых органических микропористых полимеров вызывает значительный интерес исследователей последнее десятилетие, благодаря большому разнообразию потенциальных применений, включая процессы хранения и разделения газов, фотовольтаику, создание химических сенсоров и катализ [1]. Однако, большинство работ сосредоточено на создании нерастворимых полимеров, чья высокая площадь поверхности достигается за счет ковалентного связывания строительных блоков, обладающих жесткой структурой, и формирования сетки. Такие полимеры, как правило, обладают развитой площадью поверхности, однако, процессы их переработки и формирования материалов затруднены из-за нерастворимости в органических растворителях. В то же время подходы к синтезу растворимых полимеров с большой площадью поверхности и однородной микропористостью в настоящее время довольно ограничены.

В настоящей работе разработан новый подход к синтезу микропористых полимеров, обладающих высокой площадью поверхности, путем поликонденсации по реакции Дильса-Альдера двух пространственно затрудненных мономеров [2]. Полученные полимеры были растворимы в типичных органических растворителях: хлористом метиле, тетрагидрофуране, о-ксилоле и др. Данные адсорбции-десорбции  $N_2$  и  $CO_2$  показали, что параметры пористости, такие как площадь поверхности и размеры пор, могут быть варьированы заданным образом, в зависимости от условий синтеза и типа использованных мономеров. Так, варьируя тип этинилсодержащего мономера (три- или тетра-разветвленный мономер), удалось синтезировать полифенилены с ультрамикропористой структурой (размер пор  $\leq 0.6$  нм), равномерным распределением пор по размерам и площадью поверхности  $750 \text{ м}^2/\text{г}$ . Кроме того, доля микропор может быть существенно увеличена путем введения более низкокипящего растворителя, например, толуола.

**Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 22-73-00087.

**Ссылки**

[1] Mohamed M.G., EL-Mahdy A.F.M., Kotra M.G., Kuo S.W. Advances in porous organic polymers: syntheses, structures, and diverse applications // Mat Adv. – 2022. Vol. 3.– P. 707.

[2] Sorokina S.A., Kuchkina N.V., Mikhailchenko A.V., Krasnova I.Yu. et. al. Ultramicroporous Polyphenylenes via Diels–Alder Polycondensation Approach // Polymers – 2023. Vol. 15. – E. 2060.

УДК 541.64:539.2

## «ЗВЕЗДНЫЕ» ИОНОПРОВОДЯЩИЕ БЛОК-СОПОЛИМЕРЫ

**Сылко Д.Н.<sup>1,2</sup>, Понкратов Д.О.<sup>1</sup>, Милованова Д.А.<sup>1</sup>, Малышкина И.А.<sup>2</sup>, Лозинская Е.И.<sup>1</sup>**

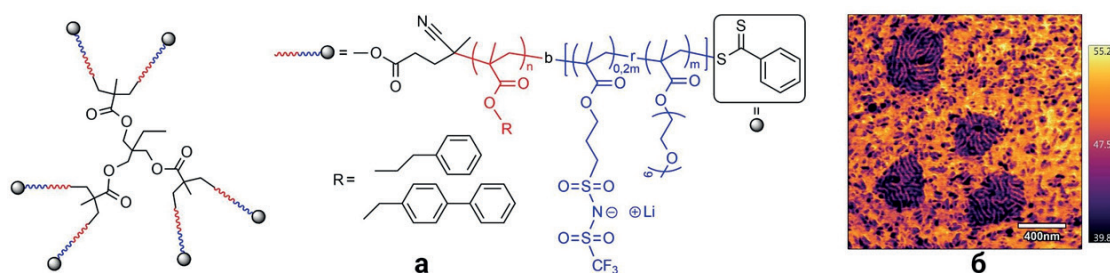
<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН),

Россия, 119334 Москва, ул. Вавилова, 28, стр. 1

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Факультет фундаментальной физико-химической инженерии, Россия, 119991 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 51

E-mail: d.sylko2003@mail.ru

Блок-сополимеры с одним типом подвижных зарядов (single-ion conducting polymers) являются перспективными полиэлектролитами для литиевых аккумуляторов, суперконденсаторов, тонкоплёночных транзисторов [1]. Поэтому изучение взаимосвязи между величиной ионной проводимости и особенностями их самоорганизации относится к актуальным задачам. Тип архитектуры (линейная, «звездная», разветвленная) оказывает влияние на фазовое поведение макромолекул и коэффициенты диффузии ионов [2]. В данной работе ОПЦ-полимеризацией синтезирован ряд шестилучевых блок-сополимеров, в которых один из блоков представляет собой полианион с катионами  $\text{Li}^+$ , а другой – нейтральный полимер (рис.1а). Они различались строением ароматических заместителей в неионном блоке, составом и молекулярной массой ( $M_{\text{ямп}} = 420 \div 590$  кДа,  $M_w/M_n = 1,24 \div 1,33$ ). Данные АСМ (рис.1б) свидетельствуют о несовместимости блоков и формировании в расплавах полимеров доменов с различной морфологией и размерами. Получены твёрдые полиэлектролиты с относительно высокой ионной проводимостью  $\sigma \approx 10^{-6}$  См/см, 25°C.



**Рисунок 1.** Строение «звёздного» блок-сополимера (а) и пример его АСМ-изображения (б).

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Ссылки

[1] A comprehensive review of single ion-conducting polymer electrolytes as a key component of lithium metal batteries: From structural design to applications // C. Shan, Y. Wang, M. Liang et al. // Energy Storage Mater. – 2023 – 63 – 102955.

[2] Decoding polymer architecture effect on ion clustering, chain dynamics, and ionic conductivity in polymer electrolytes // R. Bakar, S. Darvishi, U. et al. // ACS. Appl. Energy Mater. – 2023 – 6 – 4053.

УДК 577.22

## УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ЦЕПИ БИОМЕМБРАН КАК СТРУКТУРНЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ НЕКРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Талис А.Л.**

*Институт элементоорганических соединений РАН, Москва, ул. Вавилова 28  
E-mail: talishome@mail.ru*

Тетраблок - строительная единица тетраэдрической цепи, определяемая таблицей инцидентности (7x7) блок-схемы 2-(7,3,1), которая структурно реализуется в 7-вершинное объединение по граням 4-х правильных тетраэдров [1]. Строительными единицами тетракоординированной (углеводородной) цепи являются (7+7)-вершинный составной и (7+7-3)-вершинный декорированный тетраблока, в вершинах которых сходятся 1 или 4 ребра. Стыковка составных тетраблоков по торцевым вершинам определяет насыщенную цепь, а стыковка декорированных тетраблоков по торцевым ребрам – двойную связь. Комплементарная к 2-(7,3,1) блок-схема 2-(7,4,2) и связанные с ней комбинаторные конструкции на 7 символах (матриод Фано и производные от него) определяют только 3 “конформационных” варианта 14-вершинного графа составного тетраблока. В рамках “С, Н” – реализации им соответствует граф бутана  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$  в трех возможных конформациях (транс, гош<sup>+</sup> и гош<sup>-</sup>) [1]. Законы объединения матриодов задаются самим исходным матриодом, что определяет самоорганизацию («кирпич является и архитектором») матриодных цепей. Такие цепи могут структурно реализоваться в форме объединения только целого числа составных и/или декорированных тетраблоков, что позволяет определить углеводородную цепь фосфолипидов природных мембран в качестве структурной реализации цепи из комбинаторных конструкций на 7 символах.

Матриод Фано позволяет построить 8-мерную решетку  $E_8$ , в которую вкладывается 240 вершинный 4-мерный тетракоординированный многогранник — политоп 240. В силу тетракоординированности углерода политоп 240 является идеальным прототипом тетракоординированной системы биомембраны [2]. Если считать длины связей С-С и С-Н одинаковыми, то политоп содержит объединения по торцевым вершинам 3, 4, 5 составных тетраблоков, определяющие цепи  $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ ,  $\text{C}_{16}\text{H}_{32}$ ,  $\text{C}_{20}\text{H}_{40}$ . Политоп определяет и закономерности объединения углеводородных цепей, собранных из тетраблоков.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### Ссылки

[1] Rabinovich A.L., Talis A.L. Structural Units for Characterizing the Noncrystallographic Symmetry of Hydrocarbon Chains as Components of Phospholipid Molecules // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics — 2021. Vol. 85, № 8. — P. 863 - 867.

[2] Talis A.L., Rabinovich A.L. Mappings of four-dimensional 240-vertex polytope {240}. // Crystallography Reports — 2020. Vol. 65, № 5. — P. 715–724.

УДК 678.1

**СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОРФИРИНПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ НА  
ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ****Танделов А.-Т.Т., Тертышная Ю.В.***Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук,  
119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4*

Разработка и исследование новых полимерных материалов с биологической активностью и создание на их основе материалов для биомедицинского использования представляет собой динамично развивающуюся сферу [1]. В научном сообществе активно идет поиск композиционных материалов нового поколения, которые были бы не только эффективными в лечении, но и не наносили вреда окружающей среде и здоровью человека. Особое внимание уделяется разработке биоразлагаемых полимеров, среди которых выделяется полилактид (ПЛА), термопластичный полимер, получаемый путем полимеризации молочной кислоты из возобновляемых источников, таких как кукуруза, пшеница и сахарная свекла. Этот материал находит широкое применение в медицинской индустрии благодаря своей биосовместимости и способности к биодеградации, используется в производстве хирургических нитей, штифтов, а также в системах доставки лекарственных препаратов [2-5].

Таким образом, в результате проведенной работы получены новые порфиринопolyмерные системы ПЛА/ПЭГ – порфирин с антибактериальными свойствами. Структурообразование полимерной матрицы в данном случае зависит от присутствия полиэтиленгликоля, который влияет на процесс кристаллизации полилактида и несколько смещает температуры стеклования и плавления ПЛА. Наличие ПЭГ в композициях увеличивает относительное удлинение и несколько снижает прочность при растяжении [6].

Присутствие порфирина обуславливает антибактериальный эффект, благодаря чему полученные композиционные материалы можно считать перспективными для применения в медицине.

**Ссылки**

- [1] Захаров М.С., Тертышная Ю.В. Структура и свойства синтетических порфиринов и порфиринов-полимерных систем // Russian Journal of Organic Chemistry, 2023.
- [2] Piemonte V., Gironi F. Kinetics of Hydrolytic Degradation of PLA. // J. Polym. Environ. 2013, 21, 313–318.
- [3] Tertyshnaya Y.V., Karpova S.G., Popov A.A. Effect of Aqueous Medium on the Molecular Mobility of Polylactide // Russ. J. Phys. Chem. B 2017, 11, 531–537.
- [4] Deroiné M., le Duigou A., Corre Y.M., le Gac P.Y., Davies P., César G., Bruzard S., Accelerated Ageing of Polylactide in Aqueous Environments: Comparative Study between Distilled Water and Seawater // Polym. Degrad. Stab. 2014, 108, 319–329.
- [5] Tertyshnaya Y., Podzorova M., Moskovskiy M. Impact of Water and UV Irradiation on Nonwoven Polylactide/Natural Rubber Fiber // Polymers 2021, 13, 461.
- [6] M. Bijarimi, S. Ahmad, R. Rasid, M. A. Khushairi, M. Zakir Poly(lactic acid) / Poly(ethylene glycol) blends: Mechanical, thermal and morphological properties // AIP Conf. Proc. 1727, 020002 (2016).

УДК 547.1:677.494.7

## ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ПОЛИОРГАНОСИЛАНОВ

Соколов М.А., Тенчурин Т.Х., Белоусов С.И., Чвалун С.Н.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, пл. Академика Курчатова д.1  
E-mail: sokolov\_mx@mail.ru

Композиты на основе карбида кремния при высоких температурах обладают высокой прочностью, химической и радиационной стойкостью. Возможность получать карбидокремниевую керамику методом пиролиза полимерного прекурсора позволяет получать изделия различных форм и использовать их в различных областях, в частности, в атомной промышленности. Авария на АЭС Фукусима показала необходимость замены сплавов циркония в качестве материала оболочек ТВЭЛов. В настоящее время исследуют возможность изготовления оболочек ТВЭЛов из композитов различного строения на основе карбида кремния [1,2]. Некоторые из них включают в себя создание армирующей матрицы из карбидокремниевых волокон.

В докладе представлен новый способ создания SiC/SiC композита с использованием электроформования в качестве метода получения армирующей матрицы из раствора поликарбосилана в хлороформе. Регулирование интенсивности процесса отверждения нетканого материала позволяет добиться частичного оплавления полимерного мата на стадии пиролиза и образования связной кораллоподобной 3D структуры из карбидокремниевой керамики, пригодной для использования в качестве армирующей матрицы. В частности, при использовании в качестве приемного устройства графитового барабана, получена матрица в форме цилиндрической оболочки. Предложенный способ получения карбидокремневых матриц, технологически значительно проще и экономически выгоднее существующих методов, основанных на плетении карбидокремниевых волокон вокруг трубчатой подложки. Полученный каркас пропитали трихлорметилсиланом и подвергли пиролизу (PIP process). Нетканый материал, керамическая матрица и композитная оболочка изучены методами электронной микроскопии и элементного анализа.

### Благодарность

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

### Ссылки

[1] Способ изготовления керамической многослойной трубки для оболочки тепловыделяющего элемента ядерной энергетической установки. RU 2762000 C1 от 14.12.2021

[2] Захаров Р.Г., Макаров Ф.В., Карпюк Л.А. и др. Исследование процессов создания бескернового карбидокремниевое волокна  $\beta$ -модификации с пониженным содержанием кислорода // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. 2023. Выпуск 1(117). С. 6-14.

УДК 541.124

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНСПОРТ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КОМПОЗИЦИИ ПОЛИЛАКТИДА И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Александров А.И.<sup>1</sup>, **Ткачев В.В.**<sup>1</sup>, Шевченко В.Г.<sup>1</sup>, Озерин А.Н.<sup>1</sup>,  
Роговина С.З.<sup>2</sup>, Берлин А.А.<sup>2</sup>

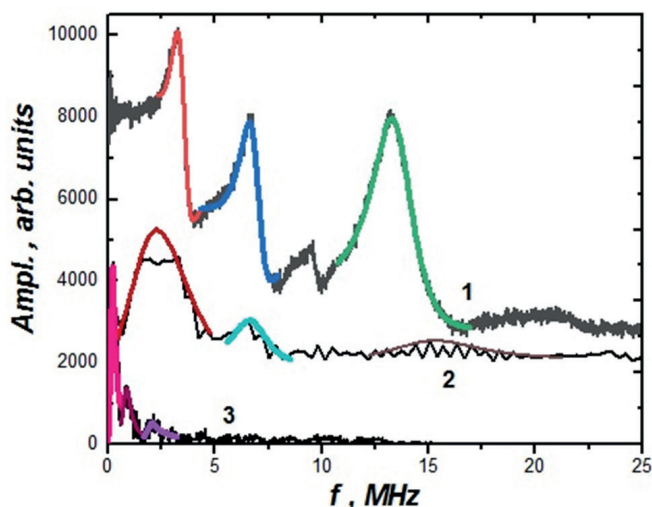
<sup>1</sup>Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова РАН, 117393 Москва, ул. Профсоюзная 70

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики  
им. Н.Н. Семенова РАН, 119991, Москва, ул. Косыгина, 4.

E-mail: v.tkachev@ispm.ru

Двумя независимыми методами, в твердой фазе под действием сдвиговых деформаций и жидкофазным методом в хлороформе получены композиции полилактид (ПЛА) – восстановленный оксид графена (ВОГ) различного состава. Обнаружен эффект изменения частоты механически активированного тока, заключающийся в том, что импульсы электрического тока, возникающие при быстром разрушении типа реологического взрыва, различаются по частотным характеристикам для ПЛА и его композиций с ВОГ. Продемонстрировано различие релаксационных характеристик их частотных спектров, соответствующих наблюдаемым процессам переноса заряда.

Ключевые слова: полилактид, восстановленный оксид графена, наноконпозиты, спектр времен релаксации, рентгеноструктурный анализ, импульс упругой волны.



**Рисунок 1.** Частотные спектры электромагнитного импульса при механическом воздействии на ПЛА (1) и композиты ПЛА-ВОГ, содержащие 0,25 (2) и 15 мас. % ВОГ (3).

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FFSM-2024-0002.



УДК 541.124

## РАЗРУШЕНИЕ ЭПОКСИДНО-АНГИДРИДНЫХ КОМПАУНДОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Александров А.И., Евтушенко Ю.М., **Ткачев В.В.**, Григорьев Ю.А.,  
Безсуднов И.В., Шевченко В.Г., Озерин А.Н.

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

Методом импульсного механического воздействия, приводящего к реологическому взрыву и радиочастотному отклику, исследованы эпоксидно – ангидридные компаунды, наполненные микро стеклянными шарами, кварцевой мукой, базальтовой пудрой. Показано, что наполнение компаунда микро стеклянными шарами имеет преимущество в ударно – прочностных свойствах по сравнению с наполнением кварцевой мукой, базальтовой пудрой. Полученные данные по радиочастотному отклику на ударное воздействие и по релаксации упругой энергии могут быть использованы для выбора составов эпоксидно-ангидридных компаундов для целевого использования при проектировании конструкционных материалов, таких как высоковольтные системы передачи и распределения электроэнергии, защитные покрытия гражданских объектов.

Ключевые слова: эпоксид, наполнители, электрическая изоляция, электроэнергия, высоковольтные системы, реологический взрыв.

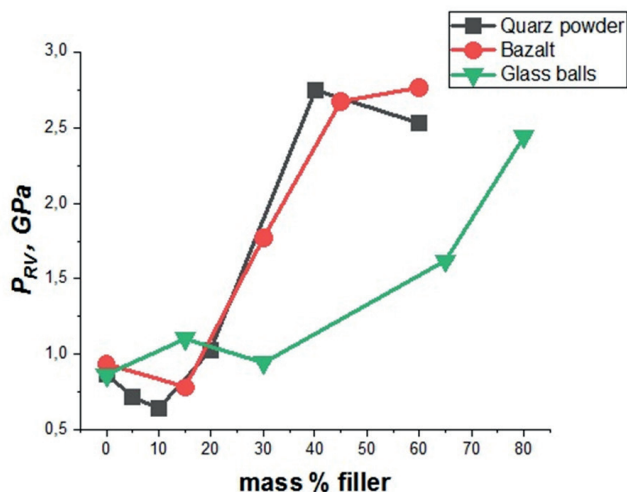


Рисунок 1. Давление реологического взрыва в зависимости от масс % наполнителя

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FFSM-2024-0002.

УДК 661.174

## ТРУДНОГОРЮЧИЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ АНТИПИРЕНЫ НА ОСНОВЕ МЕЛАМИНА И АММОНИЙ ФОСФАТОВ

**Тоиров С.Х., Евтушенко Ю.М.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки.*

*Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва,*

*Профсоюзная улица, 70, стр. 2*

*E-mail: ovtoir@gmail.com*

В данной работе изучена горючесть эпоксидной смолы DER 330, отверждаемой ТЭТА, с 20%-ным содержанием антипиренов на основе смесей фосфор- и азотсодержащих компонентов. В качестве критериев горючести композитов использовали значения кислородного индекса (КИ) и времени горения образцов после первого приложения пламени газовой горелки в течение 10 с ( $t_1$ ) и соответственно второго - 10 с ( $t_2$ ). По результатам испытаний (стандарт 94) определен рейтинг категории стойкости к горению. Показатель  $V_0$  соответствует максимальной стойкости к горению. Образцы с временем горения более 10 с не являются трудногорючими.

№ образца	1	2	3	4	5	6
$C_{\text{меламин}}, \%$	0	20	40	60	80	100
Полифосфат аммония + меламин (ПФА-МЕЛ)						
КИ, %	27,7	28,4	29,1	31,0	26,4	19,6
$t_{1,c}$	0	0	0	0	2	>10
$t_{2,c}$	0	0	0	0	3	-
UL 94	$V_0$	$V_0$	$V_0$	$V_0$	$V_0$	-
Дигидрофосфат аммония + меламин (ДГФА-МЕЛ)						
КИ, %	27,8	29,7	29,7	29,1	26,1	19,6
$t_{1,c}$	1	0	0	2	2	>10
$t_{2,c}$	2	0	0	2	4	-
UL 94	$V_0$	$V_0$	$V_0$	$V_0$	$V_0$	-
Диаммонийгидрофосфат + меламин (ДАГФ-МЕЛ)						
КИ, %	26,9	30,5	33,0	25,1	17,5	19,6
$t_{1,c}$	2	2	4	5	>10	-
$t_{2,c}$	2	3	3	5	>10	-
UL 94	$V_0$	$V_0$	$V_0$	$V_0$	-	-

Данные таблицы позволяют сделать вывод о наличии максимальных синергетических эффектов стойкости к горению при определенном соотношении P- и N-компонентов. Меламин, являясь слабодействующим антипиреном (КИ=19,6%), в присутствии аммониевых солей фосфорной кислоты существенно повышает стойкость к горению ЭС.

УДК 541.64:539.37:546.562

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ И СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Бровина С.Д.<sup>1</sup>, Трофимчук Е.С.<sup>1,2</sup>, Масталыгина Е.Е.<sup>1,3</sup>,  
Чердынцева Т.А.<sup>2</sup>, Леонова И.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РЭУ имени Г.В. Плеханова, Москва, Стремянный пер., 36, 115093

<sup>2</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1, 119991

<sup>3</sup> ИБХФ имени Н.М. Эмануэля РАН, Москва, ул. Косыгина, 4, 119334

E-mail: elena\_trofimchuk@mail.ru

Известно, что полимолочная кислота (полилактид, ПЛ) подвержена воздействию микроорганизмов. Поэтому в ПЛ вводятся добавки, обладающие антимикробными свойствами и предотвращающие микробиологическую порчу изделий в процессе их эксплуатации. Распространенным видом добавок являются соединения меди, обладающие доказанным антимикробным эффектом [1]. Проблема создания материалов с соединениями меди заключается в том, чтобы данные материалы обладали антисептическим эффектом и при этом не были токсичными для человека. Также важной задачей является обеспечение пролонгированного высвобождения добавки в процессе эксплуатации изделия и биоразлагаемости по окончании его жизненного цикла.

В работе рассматриваются пленочные материалы на основе ПЛ с соединениями меди, полученные с использованием методологии крейзинга. Преимущество данного метода заключается в снижении расхода добавки, а также в том, что он не требует подбора термически совместимых компонентов, поскольку осуществляется при комнатной температуре [2]. Антимикробные свойства материалов исследовали на культурах патогенных микроорганизмов *E. coli* и *S. aureus*, а также на дрожжевых грибах *Candida*.

Токсичность материалов исследовали методом биотестирования на простейших рода *Tetrahymena*. Образцы выдерживали в водной вытяжке, и затем изучали влияние на развитие простейших при разных концентрациях полученной вытяжки. Было выявлено, что малые концентрации  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  способствуют росту простейших. При увеличении концентрации они начинают постепенно погибать.

### Ссылки

[1] Масталыгина Е.Е., Колесникова Л.А., Бровина С.Д. Антимикробные добавки для создания функциональных полимерных материалов для различных сфер применения // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 8. – С. 7-14.

[2] Khavpachev M., Trofimchuk E., Nikonorova N., Garina E., Moskvina M., Efimov A., Demina V., Bakirov A., Sedush N., Potselev V., Cherdyntseva T., Chvalun S. Bioactive polylactide fibrous materials prepared by crazing mechanism // Macromolecular Materials and Engineering. – 2020. – Vol. 305. – Is. 7. – Art. 2000163.

УДК 691.175

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СМЕСЕЙ ПОЛИЭТИЛЕНА И НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА НА БИО И ТЕРМО ДЕСТРУКЦИЮ

**Тюбаева П.М.<sup>1,2</sup>, Варьян И.А.<sup>1,2</sup>, Монахова Т.В.<sup>1</sup> и Попов А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт Биохимической Физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова,

Москва, Стремянный переулок, 36

E-mail: ivetta.varyan@yandex.ru

В настоящее время большое значение имеет разработка биоразлагаемых полимеров, которые легко разлагаются под воздействием микроорганизмов (бактериями, грибами и т. д.). Перспективной стратегией достижения этой цели является включение в синтетическую полимерную матрицу природных добавок, которые обеспечивают питательную среду для привлечения микроорганизмов к поверхности полимера и тем самым инициируют процесс его биодegradации. Здесь мы представляем результаты нашего исследования по использованию натурального каучука в качестве добавки к полиэтилену низкой плотности с целью создания биоразлагаемых полимерных композитов. Полимерные смеси на основе полиэтилена с содержанием натурального каучука от 0 до 50 (мас.%) получали путем смешивания и прессования ингредиентов при повышенных температурах с последующим быстрым охлаждением. Нами было изучено влияние на устойчивость к термоокислительной деструкции добавления к ПЭ натурального каучука. Так как мы получаем наши композиты при механическом смешении расплавов очень важно понимать закономерности термоокисления полученной смеси от состава компонентов. Нами была исследована кинетика термоокисления полученных смесей как при температуре 80 °С - в твердом состоянии, так и в расплаве -130 °С. Полученные кривые носили идентичный характер. Скорости окисления для всех смесей были выше, чем скорости окисления исходных полиэтилена и натурального каучука поскольку при смешении происходит образование межфазного слоя и перекрестные реакции между компонентами приводят к отклонению от аддитивности зависимости скорости окисления от состава. Для изучения процесса биодegradации образцы помещали в лабораторную почву и степень дегradации оценивали по величине потери массы с течением времени. Физические и химические свойства образцов контролировались несколькими методами, включая испытания на растяжение, оптическую микроскопию, дифференциальную сканирующую калориметрию, инфракрасную спектроскопию и другие. Показано, что присутствие натурального каучука существенно увеличивает скорость разложения композитов на основе полиэтилена. Наибольший эффект наблюдается для образцов с содержанием натурального каучука 50 (мас.%). Для этих образцов потеря веса составила более 40% от исходного веса за время эксперимента. Также на основе комплексного исследования физико-химических свойств было показано, что все исследованные образцы полимерных композитов на основе полиэтилена с добавками натурального каучука обладают удовлетворительными механическими свойствами, достаточными для использования в качестве упаковочного материала. Таким образом, мы делаем вывод, что использование натурального каучука в качестве добавки является эффективным методом производства биоразлагаемых материалов на основе полиэтилена.

УДК 620.22;678.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИДА 6, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКОЙ АЛИФАТИЧЕСКОГО ПОЛИКЕТОНА, ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

**Усова В.Н., Кривогуз Ю.М.**

*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель, ул. Кирова 32а, 246050, Беларусь  
E-mail: yurikriv@tut.by*

Приводится информация о характере зависимостей реологических и теплофизических свойств полиамида 6 (ПА6), модифицированного добавкой алифатического поликетона (АПК), от технологических режимов экструзии. Модифицирование ПА6 добавкой АПК осуществляли в двухшнековом экструдере «ТSSK-35/40». Температурный режим в зонах смешения экструдера варьировали от 225 °С до 230 °С. Частота вращения шнеков ( $v_{ш}$ ) при этом изменялась в пределах от 300 об/мин до 550 об/мин. Концентрация АПК в объеме ПА6 составляла 3,0 мас.%. Выполненные исследования позволили установить, что:

– смешение в расплаве ПА6 с 3 мас.% АПК приводит к получению конечной композиции, обладающей пониженными более чем в 60 раз значениями показателя текучести расплава (ПТР) по сравнению с исходным ПА6. Приведенные результаты дают основание полагать, что между ПА6 и АПК в ходе их смешения в расплаве протекают физико-химические взаимодействия;

– с увеличением  $v_{ш}$  от 300 об/мин до 550 об/мин при постоянной температуре экструзии значения ПТР для ПА6/АПК возрастают от 1,4 г/10 мин до 5,7 г/10 мин, что свидетельствует о снижении интенсивности взаимодействий между полимерными компонентами;

– с повышением температуры экструзии на 5 °С для модифицированного ПА6 наиболее существенные изменения претерпевают энтальпии плавления  $\Delta H_{пл}$  и кристаллизации  $\Delta H_{кр}$ , что проявляется в заметном снижении их значений на 7,89 Дж/г и 4,09 Дж/г соответственно;

– с увеличением  $v_{ш}$  возрастают значения как  $T_{пл}$  и  $T_{кр}$ , так и энтальпий плавления и кристаллизации модифицированного ПА6. Этот результат напрямую связан с уменьшением вязкости расплава и ростом подвижности макромолекул модифицированного ПА6 при увеличении  $v_{ш}$ , что благоприятно сказывается на формировании кристаллической фазы в модифицированных ПА6 композициях.

Таким образом, полученные результаты указывают на сложный характер зависимостей реологических и теплофизических свойств ПА6, модифицированного добавкой АПК, от технологических режимов экструзии, что следует учитывать при разработке реальных технологических процессов переработки данных композиций.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Т24М-016).

УДК 541.64; 542.952

## АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ОБРАЗОВАНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПОЛИИМИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ИМИДИЗАЦИЕЙ ПОЛИАМИДОКИСЛОТ В АМИДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ С УЧЁТОМ ПОБОЧНОЙ РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА АНГИДРИДНЫХ ГРУПП

**Устимов А.В., Цегельская А.Ю., Семенова Г.К., Кузнецов А.А.**

*Институт синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколопова Российской академии наук, г. Москва, ул. Профсоюзная, 70.*

*E-mail: Ustimow@mail.ru*

Проведен кинетический анализ процесса получения растворимого полиимида термической имидизацией преполимера – полиамидокислоты (ПАК) – в растворе в диметилацетамиде в диапазоне температур 120-160 °С. Для анализа использована схема, включающая элементарные реакции имидизации, синтеза и распада ПАК, а также побочную обратимую реакцию гидролиза ангидридных групп выделяющейся при имидизации водой. ПАК получена низкотемпературной поликонденсацией диангирида 2,2-бис[(3,4-дикарбоксифенокси)фенил]пропана (BPADA) и 2,2-бис-(4-аминофеноксифенил)пропана (BAPP). Для модельных соединений, фталевого ангидрида и фталевой кислоты, экспериментально определены константы скорости гидролиза ангидридных групп и дегидратации фрагментов фталевой кислоты. В расчетах использованы также полученные авторами ранее экспериментальные значения констант скоростей элементарных реакций имидизации, распада и синтеза ПАК данного химического строения в том же температурном диапазоне. Решение системы кинетических уравнений проведено методом численного интегрирования с помощью программного пакета Maple 17. Разработанная модель позволяет рассчитать кинетическую зависимость изменения среднечисловой молекулярной массы образующегося полиимида. Согласно результатам расчета, на характер этой зависимости влияет исходная концентрации ПАК, при этом чем выше концентрация ПАК, тем заметнее роль побочной реакции гидролиза концевых ангидридных групп, которая снижает скорость нарастания средней степени полимеризации.



УДК 66.017

## ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА И АЛЬГИНАТА, СОДЕРЖАЩИЕ (МЕДЬ- И СТРОНЦИЙ)-ЗАМЕЩЕННЫЕ ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТЫ, ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

**Фадеева И.В.<sup>1</sup>, Лебедев В.Н.<sup>2</sup>, Дейнеко Д.В.<sup>2</sup>, Форысенкова А.А.<sup>1</sup> Трофимчук Е.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ИМЕТ РАН, г. Москва, Ленинский пр., д.49.

<sup>2</sup> МГУ, г. Москва, Воробьевы горы, ГСП-1

E-mail: fadeeva\_inna@mail.ru

Композиты на основе биополимеров с фосфатами кальция, используются в медицине, в том числе в регенеративной медицине. В настоящей работе представлен композиционный материал на основе полимерной матрицы из смеси биосовместимых и биорезорбируемых полимеров - поливинилпирролидона (ПВП) и альгината натрия (АЛГ) с распределенным в матрице минеральным компонентом - двойным (медь- и стронций)-замещенным трикальцийфосфатом (Cu-Sr-ТКФ). Данный материал может служить матриксом для роста клеток нативной ткани, а также - депо для локальной доставки лекарственных препаратов в пораженную область. Минеральный компонент композита – Cu-Sr-ТКФ – является биосовместимым и биорезорбируемым фосфатом кальция, близким по своему составу к минеральной составляющей костной ткани,

Cu-Sr-ТКФ синтезировали твердофазным методом [1], дезагрегировали и отбирали фракцию менее 100 мкм. В водный раствор полимеров вводили минеральный компонент и обрабатывали смесь ультразвуком для более равномерного распределения его в растворе полимера. Пленки формовали на полипропиленовых подложках и высушивали в эксикаторе при 100%-ной влажности.

Композит исследован методами рентгенофазового анализа (РФА), инфракрасной спектроскопии (ИК) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Установлено, что основной кристаллографической фазой Cu-Sr-ТКФ является витлокит ( $\beta$ -ТКФ). Изучена набухаемость пленки в физиологическом растворе: ход кривой набухаемости типичен для гидрогелей [2]. По данным СЭМ, минеральный компонент распределен в полимерной матрице равномерно. Введение Cu-Sr-ТКФ в полимерную пленку снижает прочность пленки. При погружении композиционной пленки в физиологический раствор пленка сохраняет целостность в течение 30 суток.

Разработанный материал перспективен для использования в качестве раневых повязок.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания №075-00320-24-00

### Ссылки

[1] Nikiforov, I. V., Spassky, D. A., Krutyak, N. R., Shendrik, R. Y., Zhukovskaya, E.S., Aksenov S. M., Deyneko, D. V. Co-Doping Effect of Mn<sup>2+</sup> and Eu<sup>3+</sup> on Luminescence in Strontio whitlockite Phosphors, *Molecules*. 29 (2023) 124.

[2] Дубровский, С. А., Афанасьева, М. В., Лагутина, М. А., & Казанский, К. С. (1990). Измерение набухания слабосшитых гидрогелей. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*, 32(1), 165-170.

УДК 66.095.261.2

## АВТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБОКСИЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИИМИДОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ *IN SITU* В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Чучалов А.В.<sup>1</sup>, **Фоломин А.Д.**<sup>1,2</sup>, Сапожников Д.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Миусская площадь, д. 9.  
E-mail: retas317@gmail.com

Карбоксилсодержащие полиимиды (КПИ) представляют большой потенциал для создания газоразделительных мембран, высокотермостойких покрытий, ионопроводящих материалов, аэрогелей, нанокомпозитов и т.д. Однако для синтеза КПИ традиционно используется длительный и дорогостоящий двухстадийный метод, включающий стадию образования нестабильной полиамидокислоты и последующую термическую или химическую имидизацию.

Разработана новая стратегия, заключающаяся в одностадийном высокотемпературном синтезе КПИ на основе 3,5-диаминобензойной кислоты (ДАВА), карбоксильные группы которой обеспечивают автокаталитический эффект (рисунок 1). Изучено влияние доли ДАВА на скорость нарастания ММ и свойства КПИ, получаемых из различных диангидридов ароматических тетракарбоновых кислот и диаминов. Установлено, что высокомолекулярные КПИ ( $M_w = 158 - 356$  кДа) с пяти- и более стабильными шестичленными имидными циклами формируются в течение 1 – 4 ч реакции в N-метил-2-пирролидоне даже при 25 мол.% ДАВА. Эффективный синтез КПИ без катализатора, традиционно применяемого при одностадийном способе получения полиимидов, позволяет использовать получаемые в ходе реакции растворы *in situ* в изготовлении различных функциональных материалов. В частности, лаки на основе КПИ образуют первичное защитное покрытие кварцевого оптического волокна, превосходящее коммерческий аналог по технологии изготовления, термической и гидролитической стабильности, что обеспечивает более надежную и длительную эксплуатацию оптоволоконных датчиков.

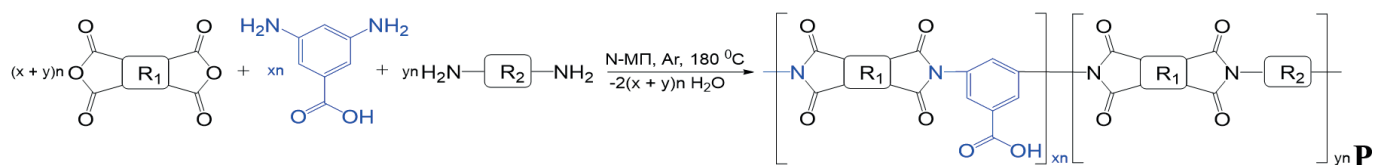


Рисунок 1. Схема синтеза карбоксилсодержащих полиимидов.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания №075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием научного оборудования Центра исследования строения молекул ИНЭОС РАН.

### Ссылки

[1] Chuchalov A. V. et al. Autocatalytic one-step high-temperature synthesis of carboxylated polyimides for in-situ high performance applications // Chemical Engineering Journal. – 2023. – Т. 472. – С. 144902.

УДК 691.1

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ДЛИННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

**Хасков М.А., Наумова В.А., Караева А.Р., Мордкович В.З.**

*ФГБНУ ТИСНУМ, г.Москва, г.Троицк, Центральная 7а  
E-mail: khaskov@mail.ru*

Разработка новых армирующих наполнителей для строительных материалов, используемых в аддитивных технологиях, является важнейшим направлением современного развития строительной отрасли [1]. Штапельные волокна на основе поливинилового спирта (ПВС) улучшают физико-механические свойства бетонов, используемых для 3D печати, однако использование их вместе с углеродными нановолокнами позволяет также существенно повышать их абразивную устойчивость и трещиностойкость [2]. В работе изучена возможность получения волокон на основе ПВС и длинных углеродных нанотрубок (УНТ) [3] методом мокрого формования, а также изучено влияние добавок длинных УНТ на термическую устойчивость получаемого волокна.

Волокна получали методом мокрого формования водной дисперсии длинных углеродных нанотрубок и поливинилового спирта в органическом осадительном растворе.

Показано, что мокрое формование приводит к понижению термической устойчивости полимерной матрицы из ПВС, однако добавки длинных УНТ позволяет частично компенсировать наблюдаемое падение как на стадии дегидратации, так и на стадиях циклизации и карбонизации. Предполагается, что добавки УНТ влияют на структуру получаемого волокна на стадии мокрого формования, а также повышают термическую устойчивость за счёт ингибирующего эффекта по отношению к образованию свободных радикалов.

### Ссылки

[1] Placzek, G. Concrete Additive Manufacturing in Construction: Integration Based on Component-Related Fabrication Strategies / G. Placzek, P. Schwerdtner // Buildings. — 2023. — Vol. 13. — P. 1769: 1-30.

[2] Wang, J. Carbon nanofibers and PVA fiber hybrid concrete: Abrasion and impact resistance / J.Wang, R.Fu, H.Dong // Journal of Building Engineering. — 2023. — Vol. 80. — P. 107894.

Mordkovich, V.Z. The importance of water for purification of longer carbon nanotubes for nanocomposite applications / V.Z.Mordkovich, M.A. Khaskov, V.A. Naumova et al. // Journal of Composites Science. — 2023. — Vol. 7, no. 2. — P. 79–89.

[3] Mordkovich, V.Z. The importance of water for purification of longer carbon nanotubes for nanocomposite applications / V.Z.Mordkovich, M.A. Khaskov, V.A. Naumova et al. // Journal of Composites Science. — 2023. — Vol. 7, no. 2. — P. 79–89.

УДК 541(64+15):539.2

## ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОМПОЗИТАХ ПТФЭ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Таджибаев А.М.<sup>1</sup>, Хатипов Р.С.<sup>1</sup>, Садовская Н.В.<sup>1,2</sup>, Серов С.А.<sup>1</sup>, Хатипов С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «НПП «Арфлон», Москва, 1-ый Вешняковский проезд, д. 2, стр. 1

<sup>2</sup> Курчатовский комплекс «Кристаллография и фотоника», НИЦ «Курчатовский институт»,  
Москва, Ленинский проспект, 59  
[info@npp-arflon.ru](mailto:info@npp-arflon.ru)

Механизм изнашивания ПТФЭ при трении получил название деламинационного, суть которого заключается в развитии в приповерхностных слоях трещин и отслаивании в процессе трения крупных чешуйчатых частиц [1]. Такой механизм износа несвойственен другим полимерам и свидетельствует о необычном переходе от вязко-пластического к хрупкому разрушению. Введение порошковых наполнителей в ПТФЭ блокирует механизм деламинации, при этом снижение интенсивности изнашивания в зависимости от состава композита и условий испытаний достигает 3–3.5 порядков. Ранее [2] было показано, что гамма-облучение ПТФЭ ведет к снижению пористости и усилению межфазного взаимодействия частиц наполнителя с полимером. В настоящей работе исследовано влияние повышения адгезионного взаимодействия на износостойкость композитов ПТФЭ. В необлученных композитах с углеволокном, графитом и коксом значения объемного износа  $I_m$ , приведенного к единицам силы и пути трения, снижаются, по сравнению с исходным ПТФЭ, в 750, 2500 и 1560 раз соответственно. Гамма-облучение приводит к дальнейшему снижению показателя износа  $I_m$  в композитах ПТФЭ с углеволокном, графитом и коксом, по сравнению с их исходными значениями до облучения, в 23, 12 и 15 раз соответственно. Для исходного ненаполненного ПТФЭ уменьшение износа  $I_m$  после облучения составило 24000 раз. Снижение износа в ненаполненном ПТФЭ после облучения связано с переходом от деламинационного к абразивному механизму изнашивания [2]. Обнаруженное в настоящей работе снижение износа в композитах ПТФЭ обусловлено повышением износостойкости самой полимерной матрицы и усилением адгезионного взаимодействия частиц наполнителя с полимером. Влияние гамма-облучения на коэффициент трения  $k$  носит более сложный характер: в ПТФЭ изменения  $k$  малы, в композите с углеволокном  $k$  заметно снижается, в композитах с графитом и коксом  $k$  увеличивается.

### Благодарность

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

### Ссылки

[1] Blanchet T.A., Kennedy F.E. // Wear. – 1992. – Vol. 153. – № 1. – P. 229-241

[2] Хатипов С.А., Садовская Н.В., Серов С.А. // Вопросы материаловедения. – 2012. – Т. 72. – №4. – С. 191-196.

541.64

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА И 2,3,4,5,6-ПЕНТАФТОРСТИРОЛА

**Хлопов С.А.<sup>1</sup>, Барабанова А.И.<sup>1</sup>, Локшин. Б.А.<sup>1</sup>, Филипова О.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН»  
119991, Москва, Вавилова, д. 28

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы 1  
E-mail: kh.hs@yandex.ru

Создание покрытий, предотвращающих адгезию вирусов и бактерий стало особенно актуальным в условиях современной эпидемиологической ситуации. Особый интерес представляют покрытия, сохраняющие свою активность в неизменном виде в течение длительного времени. В частности, покрытия на основе витримеров - сетчатых материалов с перестраиваемой матрицей, обладающих способностью к повторному формованию и самозаживлению, благодаря контролируемому протеканию в них реакций межцепного обмена, не приводящих к понижению количества сшивок в системе.

В настоящей работе для создания самоочищающихся витримерных покрытий впервые применяются сополимеры глицидилметакрилата (ГМА) и 2,3,4,5,6-пентафторстирола (ПФС). Звенья ПФС обеспечат низкую поверхностную энергию покрытия, то есть сделают материал гидрофобным. Это придаст устойчивость к загрязнению и контаминации. Звенья ГМА необходимы для сшивки и перекрестификации.

Сополимеры ПФС и ГМА разного состава (10, 20, 30 и 50% звеньев ГМА) (Рис. 1) получали свободнорадикальной сополимеризацией в бутаноне при 70 °С в присутствии динитрила азоизомаляной кислоты в качестве инициатора.

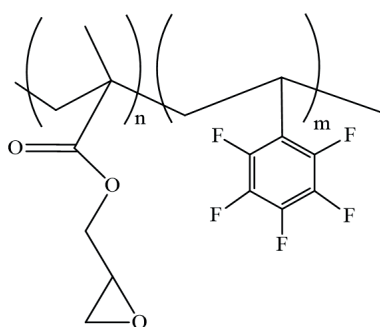


Рисунок 1. Сополимер ГМА-ПФС

Получены покрытия из сополимеров разного состава на шероховатой подложке. Исследованы их химический состав, морфология, а также репеллентные свойства. Установлено, что величины контактных углов смачивания водой ( $\theta_{\text{H}_2\text{O}} = 150^\circ$ ) образцов ткани, обработанной сополимером, несмотря на введение ГМА-звеньев, превышают аналогичные показатели для ткани, пропитанной гомополимером ПФС ( $\theta_{\text{H}_2\text{O}} = 102^\circ$ ).

УДК 691.175.842

## ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЫШЦЫ НА ОСНОВЕ ДВУХФАЗНОГО СИЛИКОНОВОГО КОМПОЗИТА

Хмельницкая А.Г., Безсуднов И.В., Калинина А.А., Пономаренко С.А.

ИСПМ РАН, Москва, Профсоюзная улица, 70  
E-mail: akazaeva@ispm.ru

Одной из ключевых задач в области мягкой робототехники сейчас является разработка гибких актюаторов с электрическим приводом и высокой плотностью запасаемой энергии. Перспективными материалами, использующимися в качестве таких устройств, могут быть композиты, в которых осуществляется переход жидкость-газ, демонстрирующие при этом более высокие деформации. Образование вспененных силиконовых композитов впервые было продемонстрировано с использованием коммерческого силикона Ecoflex 00-50 в качестве матрицы и этанола в качестве порообразующего компонента. [1] Однако использование других растворителей может повлиять на характер распределения пор по размерам в композите и, соответственно, на свойства получаемых термомеханических мышц. Целью данной работы является исследование влияния строения летучих компонентов на структуру и свойства силиконовых эластомеров, а также термомеханические свойства полученных композитов. В работе были получены двухфазные композиты, где в качестве порообразующего компонента, помимо этанола, использовали метанол, пропанол, изопропанол и бутанол. В качестве прибора для измерений объемного расширения использовался, созданный в ИСПМ РАН PARUS (рис.1), используемый в циклическом режиме, который позволяет измерять композиты на воздухе. В докладе будут представлены результаты исследования строения и концентрации порообразующего компонента на структуру силиконовых вулканизатов и дана оценка перспективности их использования в качестве терморасширяемых мышц.

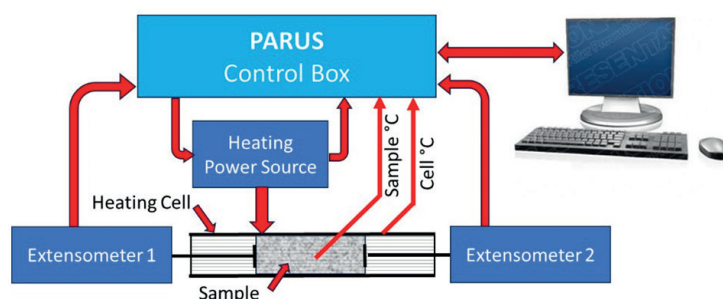


Рисунок 1. Прибор для измерения объемного расширения PARUS

### Благодарность

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

### Ссылки

[1] Miriyev A. Soft material for soft actuators / A. Miriyev, K. Stack, H. Lipson //Nature communications. — 2017. — Vol. 8. — №. 1. — P. 596.



УДК 544.774.2

## СИЛОКСАНОВЫЕ АЭРОГЕЛИ С НАСТРАИВАЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ: ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АМФОТЕРНЫЕ F-СОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЭРОГЕЛЕЙ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ

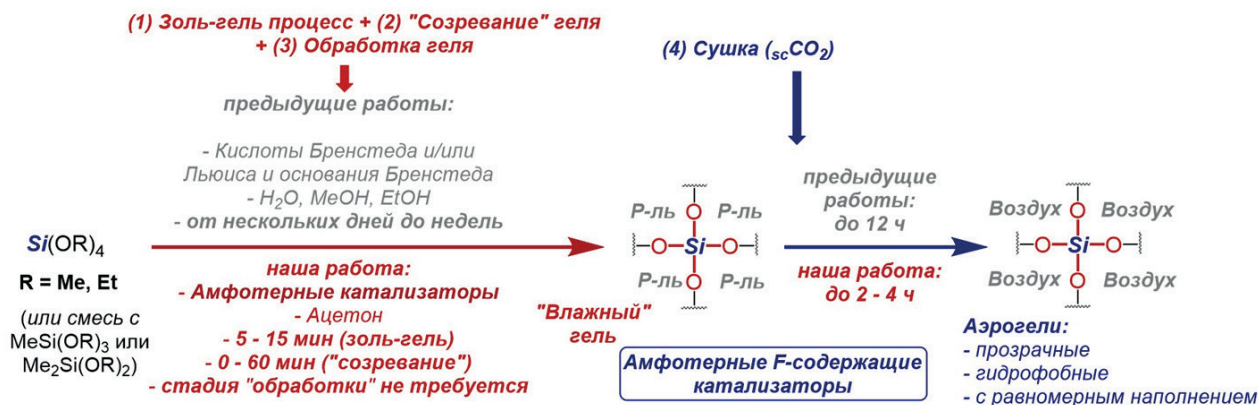
**Холодков Д.Н.,<sup>1</sup> Кубрин Г.Е.,<sup>1,2</sup> Арзуманян А.В.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

E-mail: dima\_holodkov@mail.ru

Повышенный интерес к пористым материалам особенно наблюдается в последнее время. Это связано с применением таких материалов в различных областях науки, техники и медицины. Аэрогели, в частности силоксановые аэрогели (СА), обладают уникальным комплексом свойств: высокой удельной площадью поверхности и пористостью при низкой плотности; высокими показателями тепло- и звукоизоляции; оптической прозрачностью; низкой диэлектрической проницаемостью; низким модулем Юнга; термостабильностью и др.



**Рисунок 1.** Схема получения силоксановых аэрогелей.

В данной работе представлено решение фундаментальных и практически важных проблем производства СА: снижение трудоемкости и экономической затратности. На основе этого особое внимание было уделено золь-гель процессу (Рис.1) [1]. Для получения аэрогелей мы выбрали высокоэффективные амфотерные F-содержащие катализаторы, что позволило нам не только сократить стадию образования (влажного) геля до 5 мин, но и полностью исключить стадии «созревания» и обработки геля [2]. Такой подход позволяет быстро получать, как классические непрозрачные и прозрачные СА, так и прозрачные супергидрофобные СА.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-73-10172-П.

### Ссылки

[1] Kholodkov D.N. et al // Macromol. – 2021. Vol. 54. P. 1961–1975.

[2] Арзуманян А.В., Холодков Д.Н., Кубрин Г.Е. // Патент № 2814667.

УДК 541.183

## ДИЛАТАЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ РЕОЛОГИЯ СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И МОДИФИЦИРОВАННОГО 4-ВИНИЛБЕНЗИЛХЛОРИДА

**Хребина А.Д.<sup>1</sup>, Зорин И.М.<sup>1</sup>, Власов П.С.<sup>1</sup>, Носков Б.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
“Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург,  
Университетская набережная, д. 7/9  
E-mail: st076362@student.spbu.ru

Определены поверхностные свойства растворов новой группы полиэлектролитов - полимыл на основе сополимеров стирола и 4-винилбензилхлорида, функционализированного N,N-диметилдодециламином, с различной степенью гидрофобизации. Насколько известно из литературы, поверхностные свойства растворов этих веществ ранее не изучались. Кинетические зависимости динамической поверхностной упругости исследованных растворов при высокой ионной силе монотонны и отличаются от результатов для растворов линейных амфифильных макромолекул. Этот результат связан с наличием мономеров стирола в цепи полиэлектролита, способствующих образованию агрегатов в поверхностном слое [1,2]. Применение атомно-силовой микроскопии подтверждает этот вывод. Форма изотерм поверхностной упругости и поверхностного давления нанесенных пленок гидрофобизированных сополимеров сильно зависит от процентного содержания гидрофобных сегментов, что связано с соответствующими изменениями конформации полиэлектролита в поверхностном слое. Для пленок полиэлектролита без стирольных групп обнаружен фазовый переход, соответствующий формированию плотной двумерной фазы.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 24-13-00261).

### Ссылки

[1] Noskov B.A., Nuzhnov S.N., Loglio G., Miller R. Dynamic Surface Properties of Sodium Poly(styrenesulfonate) Solutions // *Macromolecules*. 2004. Vol. 37, № 7.

[2] Noskov B.A., Bykov A.G. Dilational surface rheology of polymer solutions // *Russian Chemical Reviews*. 2015. Vol. 84, № 6. P. 634–652.

УДК 53.06:54-161

## МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

**Худобин Р.В.<sup>1</sup>, Балабаев Н.К.<sup>2</sup>, Белов Н.А.<sup>3</sup>, Рыжих В.Е.<sup>3</sup>, Мазо М.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ФИЦ ХФ РАН, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

<sup>2</sup> ИМПБ РАН - филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Московская область,  
г. Пущино, ул. проф. Виткевича, д.1

<sup>3</sup> ИНХС РАН, г. Москва, ул. Ленинский проспект, д. 29

<sup>4</sup> Technion City, Haifa, 32000, Israel

E-mail: rvhudobin@gmail.com

Численное моделирование используется для анализа величины и распределения свободного объема, сорбции и локальной подвижности мономеров в недавно полученных перфторированных полимерах: полигексафторпропилене (PHFP) [1], полиперфторпропилвиниловом эфире (PPFPVE) [2] и поли(перфтор-2-метил-2-этил-диоксоле (PPFMED) [3]. Для этого для каждого полимера в NPT ансамбле были получены траектории протяженностью  $\approx 8$  нс для 32 независимых образцов при температурах 300, 350, 400 и 450К.

Расчеты показали, что полимер PPFMED обладает заметно меньшей подвижностью торсионных углов основной цепи по сравнению с PPFPVE и PHFP, у которых подвижности близки. Свободный объем и диффузия, наоборот, максимальны у PPFMED и меньше у PPFPVE и PHFP. Можно сделать вывод, что именно свободный объем, а не локальная подвижность мономеров оказывают определяющее влияние на коэффициент диффузии.

### Благодарность

Исследование выполнено в рамках Программ фундаментальных научных исследований РФ (Госзадание FFZE-2022-0009 (регистрационный номер 122040500069-7), ФИЦ ХФ и Госзадание 122041100157-2, ФИЦ ИПМ, и Госзадания ИНХС РАН). Вычислительные ресурсы предоставлены Межведомственным суперкомпьютерным центром РАН.

### Ссылки

[1] Belov N.A., Zharov A.A., Shashkin A.V., Shaikh M.Q., Raetzke K., Yampolskii Yu.P. Gas transport and free volume in hexafluoropropylene polymers // J. Membr. Sci. – 2011. – P. 383.

[2] N. Belov, Yu. Nizhegorodova, A. Zharov, I. Konovalova, V. Shantarovich, Yu. Yampolskii. A new polymer, poly(perfluoropropylvinylether), and its comparison with other perfluorinated membrane materials // J. Membr. Sci. – 2015. - № 495. – P. 431–438.

[3] N. Belov, R. Nikiforov, E. Polunin, Yu. Pogodina, I. Zavarzin, V. Shantarovich, Yu. Yampolskii. Gas permeation, diffusion, sorption and free volume of poly(2-trifluoromethyl-2-pentafluoroethyl-1,3-perfluorodioxole) // J. Membr. Sci. – 2018. - № 565. – P. 112–118.

УДК 691.175

## РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

**Хузиахметова К.Р., Матвеев К.С., Валиева Д.М., Низамов Р.К.**

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
Казань, ул. Зеленая, 1  
E-mail: karina261996@mail.ru*

Разработка смесей полимеров является актуальным исследованием в области материаловедения. Ученые постоянно работают над созданием новых смесевых материалов на основе полимеров, поскольку их улучшенные свойства могут удовлетворить потребности современных технологий и промышленности. Смесей полимеров на основе поливинилхлорида (ПВХ) представляют собой особый интерес, так как эксплуатационные свойства таких материалов всегда выше, чем в отсутствие второго полимера [1,2].

Данные смеси могут иметь различные реологические свойства в зависимости от состава, присутствия наполнителей, модификаторов и других добавок. Например, добавление сополимеров в виде модификаторов ударной прочности и перерабатываемости, а также наполнителей, могут изменить вязкость или упругие свойства смеси. Введение сополимеров приводит к более выраженной аномалии вязкости в течение одинакового времени. Она возникает из-за накопления высокоэластической деформации в полимере в процессе его течения вместе с упругими и пластическими деформациями. Высокоэластическая деформация полностью обратима, но она постепенно развивается из-за конформационных изменений макромолекул, то есть релаксационных процессов. Скорость этих процессов зависит от температуры и продолжительности нагрузки на полимер. То есть при длительном выдерживании полимера под нагрузкой возможно увеличение высокоэластической деформации и, как следствие, снижение его вязкости. При низких скоростях сдвига высокоэластическая деформация не успевает накапливаться, а при очень высоких скоростях сдвига высокоэластическая деформация приводит к предельной ориентации макромолекул в направлении течения, что вызывает резкое снижение вязкости.

В работе изучены композиции на основе ПВХ, содержащие акрилонитрил-бутадиен-стирол, акрилонитрил-стирол-акрилат и бутадиен-стирольный сополимер. Исследованы технологические параметры экструзии в зависимости от способов совмещения компонентов полимерной композиции: ПВХ – сополимеры – дисперсные наполнители различной природы (карбонатные и кремнеземистые).

### Ссылки

- [1] Хузиахметова К.Р. и др. Изучение полимерных матриц на основе смесей поливинилхлорида и привитых сополимеров // Строительные материалы. 2023. № 12. С. 70–75.  
[2] Абдрахманова Л.А. и др. Влияние природы сополимеров на структуру модифицированных поливинилхлоридных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. Т. 779, № 11. С. 34–41.

УДК 541(128+64):542.953.2:539.199

## ЗВЕЗДООБРАЗНЫЕ ТЕТРАЛУЧЕВЫЕ ОЛИГОИМИДЫ СО СПИРОПИРАНОВЫМ ЯДРОМ

**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>Институт синтетических полимерных материалов

им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук 117393 Москва, ул. Профсоюзная, 70, Россия

<sup>2</sup>Ярославский Государственный Технический Университет

150023 Ярославль, Московский пр., 88, Россия

e-mail: pech651@yandex.ru

Сильно разветвленные макромолекулы с концевыми карбоксильными группами находят применение в качестве полимерных носителей-прекурсоров для получения металлических нанокатализаторов. Нами продемонстрирована возможность синтеза таких макромолекул в ряду полиимидов, что может придать им термостойкость, химическую и радиационную стойкость, а также возможность получения сшитых структур. Для получения звездообразных макромолекул с олигоимидными лучами (ЗОИ), содержащих концевые фрагменты фталевой кислоты или фталевого ангидрида, проводили одностадийную каталитическую поликонденсацию латентного мономера АВ – (3-аминофенокси) фталевой кислоты (3-АФФК) – в присутствии разветвляющего центра - октакарбоновой кислоты (Рис.1) в т.н. активной среде – расплаве бензойной кислоты [1]. Разветвляющий центр (СПТФК) содержит спиропирановый фрагмент, обеспечивающий разнонаправленность лучей. Длину лучей регулировали, изменяя соотношения исходных мономеров СПТФК/3-АФФК.

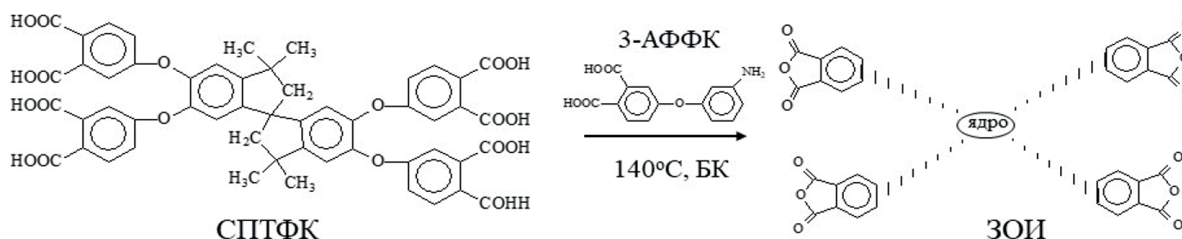


Рисунок 1. Схема синтеза ЗОИ

Полимераналогичной реакцией по концевым ангидридным группам получены сшиваемые звездообразные олигоимиды с пропаргиловыми концевыми фрагментами. Структура продуктов подтверждена методами ГПХ, ИК и <sup>1</sup>ЯМР.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке РФФ гранта № 24-23-20161

### Ссылки

[1] Kuznetsov A. A. Synthesis of Reactive Three-Arm Star-Shaped Oligoimides with Narrow Molecular Weight Distribution / Kuznetsov A. A., Soldatova A. E., Tokmashev R. Yu., Tsegelskaya A. Yu., Semenova G. K., Shakhnes A. Kh., Abramov I. G. // J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem. – 2018. Vol. 56, № 17. – P. 2004–2009.

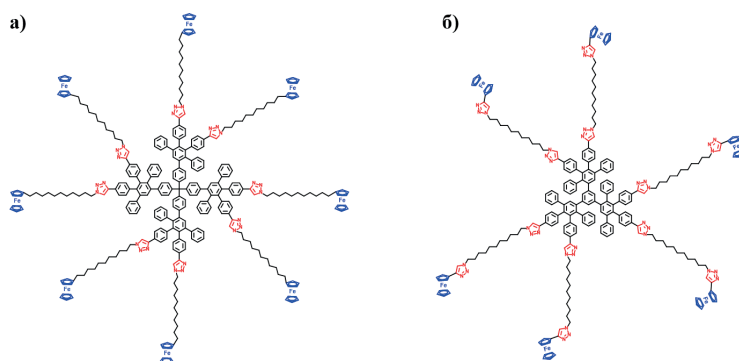
УДК 544.6

## СИНТЕЗ РЕДОКС-АКТИВНЫХ ПОЛИФЕНИЛЕНОВЫХ ДЕНДРИМЕРОВ: НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

**Чамкина Е.С., Чамкин А.А., Сухова Е.А., Шифрина З.Б.**

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН,  
г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр.1  
E-mail: elena.serkova@ineos.ac.ru*

Ферроценсодержащие дендримеры привлекают большой интерес исследователей за счет потенциального применения в молекулярной электронике, катализе и в качестве сенсоров ионов. В таких соединениях электронные свойства редокс-центра усиливаются за счет положительного дендритного эффекта, не наблюдающегося у линейных молекул. Ранее нами было показано, что редокс-активные полифениленовые дендримеры могут эффективно использоваться для создания модифицированных электродов [1]. Однако такие макромолекулы оказались нечувствительны к присутствию ионов из-за значительного расстояния между рецепторной группой и ферроценилом (Рис. 1а). В связи с этим, был предложен синтез дендримеров с близким расположением данных групп (Рис. 1б).



**Рисунок 1.** Ферроценсодержащие полифениленовые дендримеры

Дендримеры получали в мягких условиях Cu(I)-катализируемого азид-алкинового циклоприсоединения. Установлено, что процесс окисления/восстановления дендримеров является электрохимически обратимым, а сформированные на основе данных дендримеров модифицированные электроды способны детектировать ионы.

### Ссылки

[1] Chamkina, E.S. The flexibility of periphery enhances the electrochemical reversibility of ferrocenyl-terminated polyphenylene dendrimers / E. S. Chamkina, A. A. Chamkin, Z. B. Shifrina // Polymer. – 2021. Vol. 228. – 123929.



УДК 691.175.3

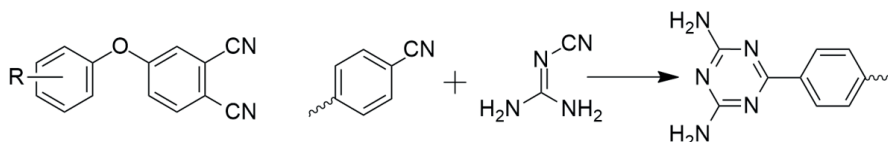
## ОТВЕРЖДЕНИЕ БЕНЗОНИТРИЛСОДЕРЖАЩИХ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В ПРИСУТСТВИИ N-ЦИАНОГУАНИДИНА

**Часовских А.А., Морозов О.С., Терехов В.Е.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Москва, ул. Ленинские горы, 1, строение 11  
Email: ar.chasovskih1508@gmail.com*

Из литературных данных известно, что фталонитрильные мономеры, содержащие бензонитрильную группу, могут выступать в качестве активных разбавителей – веществ, способных понижать температуру плавления всей смеси мономеров одновременно вступая в реакцию поликонденсации по бензонитрилу. Так в работе [1] была показана возможность сополиконденсации бензонитрилов с фталонитрилами с образованием триазиновых структур.

В данной работе был выполнен синтез нового мономера 4-(3-цианофенокси)фталонитрила (м-ЦФН), и проведено сравнение термо-механических свойств изготовленных из составов на его основе пластиков с аналогичными 4-феноксифталонитрилом (ФФН) и 4-(4-цианофенокси)фталонитрилом (п-ЦФН), отвержденных при различных температурах (270–375 °С). Обнаружено, что ни в одном из пластиков температура стеклования не достигла величины температуры постотверждения, что является важным техническим условием при изготовлении полимерных композитов. Данный недостаток можно устранить путем уменьшения скорости нагрева для достижения более глубокой конверсии реакции. Тем не менее это является технологически и экономически невыгодным решением. В качестве альтернативы мы предлагаем химическую модификацию составов путем добавления N – цианогванидина, который может вступать в реакцию с цианогруппой с образованием триазиновых структур, способных к дальнейшему отверждению.



**Рисунок 1.** Общая формула мономеров и реакция между N-цианогванидином и бензонитрильной группой. R = H, пара-CN (п-ЦФН), мета-CN (м-ЦФН)

Целью текущей работы является изучение условий начала реакции поликонденсации бензонитрильных групп, изготовление композитов на основе данных составов и их модификация N-цианогванидином.

Для оценки влияния N-цианогванидина на степень сшивки, были оценены температуры стеклования пластиков методом ДМА. Для сравнения скорости протекания реакции поликонденсации и технологического окна для каждого из составов были проведены реологические испытания.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00449.

### Ссылки

[1] V.E. Terekhov et al. / Bis(4-cyanophenyl) phenyl phosphate as viscosity reducing comonomer for phthalonitrile resins // Reactive and Functional Polymers – 2019 - Vol. 139 - P. 34–41.

УДК 541(64+127):542.954

## ВЛИЯНИЕ ИЗОМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ БИФЕНИЛЕНОКСИ(ДИФТАЛЕВОГО) АНГИДРИДА НА СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРИМИДОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

**Чистякова Д.А.**<sup>1,2</sup>, Баклагин В.Л.<sup>3</sup>, Цегельская А.Ю.<sup>2</sup>, Абрамов И.Г.<sup>3</sup>, Пискарев М.С.<sup>2</sup>,  
Шамсутдинова Р.Н.<sup>1,2</sup>, Кузнецов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский Технологический Университет МИРЭА, ИТХТ им. М.В.Ломоносова,  
Москва, просп. Вернадского, 86

<sup>2</sup>ФБГУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С.Ениколопова РАН,  
Москва, ул. Профсоюзная, 70

<sup>3</sup>Ярославский Государственный Технический Университет,  
Ярославль, Московский просп., 88  
E-mail: d.chistyakova1352@yandex.ru

Методом одностадийной высокотемпературной каталитической поликонденсации в расплаве бензойной кислоты (БК) индивидуальных изомеров бифениленокси(дифталевого) ангидрида (3,3'-, 3,4'- и 4,4'-ДФДА, ) и различных диаминов [1] синтезированы три серии новых термопластичных полиэфиримидов, соответственно (3,3'-ПЭИ, 3,4'-ПЭИ, 4,4'-ПЭИ) (рис. 1). Образцы охарактеризованы методами <sup>1</sup>H-ЯМР, ГПХ, вискозиметрии, ИК- спектроскопии, ДСК, ТМА, реологических измерений. По температуре начала тепловой деформации ПЭИ располагаются в ряд 3,3'-ПЭИ > 3,4'-ПЭИ > 4,4'-ПЭИ, причем разница в значениях составляет 7-40 °С в зависимости от используемого диамина. Наилучшими переработочными свойствами (растворимость, низкая вязкость расплава) обладают ПЭИ на основе нового несимметричного 3,4'-ДФДА.

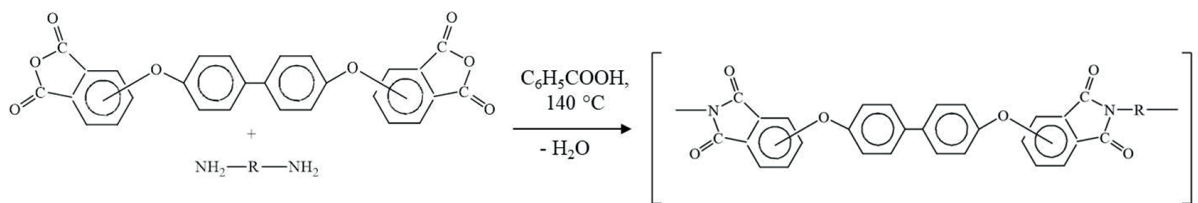


Рисунок 1. Схема реакции синтеза ПИ ДФДА-диамин

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, номер темы FF5M-0002 (2024-26).

### Ссылки

[1] Kuznetsov A.A., Tsegelskaya A.Y. Synthesis of Polyimides in the Melt of Benzoic Acid.//Solvents, Ionic Liquids and Solvent Effects, IntechOpen. – 2020. – P. 43-64.

66.095.26.085

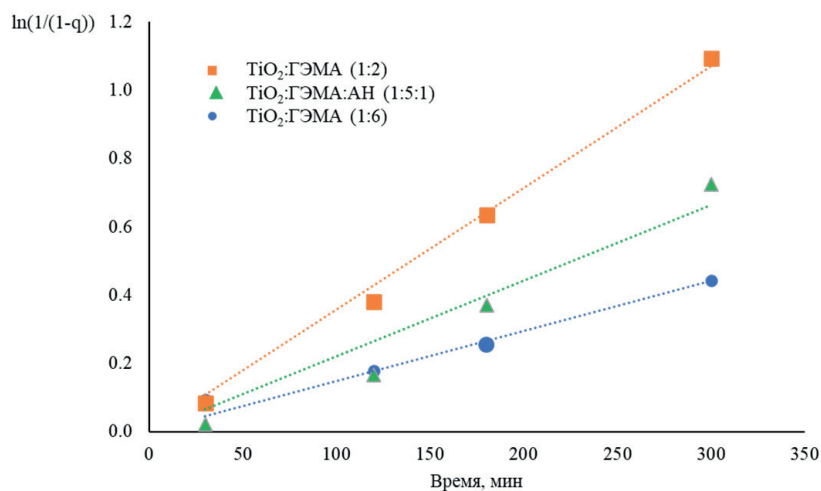
## ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА В PET-RAFT ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

**Чичаров А.А., Краснова В.В., Власова А.О., Зайцев С.Д.**

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23.  
E-mail: aleksandr.tchicharov@yandex.ru*

Особенностью метода полимеризации с обратимой передачей цепи по механизму присоединения–фрагментации (RAFT) являются широкие возможности его использования – в том числе в процессах, инициируемых излучением. Так, контролируемый синтез макромолекул возможен путем совмещения RAFT-полимеризации и метода фотоиндуцированного переноса электрона / энергии (PET-RAFT сополимеризация). Этот метод не требует нагрева системы и использования радикальных инициаторов.

Среди большого количества катализаторов, представляет интерес диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) как дешевый, безопасный и возобновляемый инициатор. Одним из факторов, влияющих на фотокалатитические свойства является размер частиц, которые можно регулировать путем получения наночастиц в полимерной матрице. В данной работе в качестве матрицы были использованы (со)полимеры на основе гидроксиэтилметакрилата (ГЭМА) и/или акрилонитрила (АН). В ходе работы были получены композиционные материалы на основе  $\text{TiO}_2$ , ГЭМА и АН с различным мольным соотношением компонентов. Полученные образцы были использованы в полимеризации метилметакрилата под действием УФ излучения (Рис. 1.), в качестве агента обратимой передачи цепи была выбрана 4-циано-4-(додецилкарбонотиоилтио)-пентановая кислота (ЦДТПА).



**Рисунок 1.** Конверсионная полимеризации метилметакрилата в полулогарифмических координатах.

УДК 691.175.5/8

## СОПРЯЖЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ТРИФЕНИЛАМИНА С РАЗЛИЧНЫМИ КОНЦЕВЫМИ ЭЛЕКТРОНОАКЦЕПТОРНЫМИ ГРУППАМИ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В ГИБРИДНОЙ ФОТОВОЛЬТАИКЕ

**Чуйко И.А.<sup>1</sup>, Калиниченко А.К.<sup>1</sup>, Ильичева Е.А.<sup>2</sup>, Саранин Д.С.<sup>2</sup>, Лупоносов Ю.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт синтетических полимерных материалов  
имени Н.С. Ениколопова Российской академии наук, Москва, ул. Профсоюзная, 70*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС,  
Москва, Ленинский пр-т, 4  
E-mail: chuyko@ispm.ru*

В настоящее время разработан широкий спектр органических дырочно-транспортных материалов, используемых в перовскитных солнечных батареях [1]. Среди них, благодаря наличию таких свойств, как высокая термическая стабильность, хорошая растворимость в органических растворителях, улучшенная адгезия к подложке, особое внимание уделяется полимерам на основе производных трифениламина (ТФА).

Среди таких материалов одними из наиболее перспективных являются полимеры донорно-акцепторного (Д-А) строения. Изменяя структуру боковых цепей полимеров путем введения различных электроноакцепторных групп, можно эффективно регулировать оптоэлектронные свойства материалов: область поглощения света, энергию уровней ВЗМО и НСМО, подвижность зарядов, что в свою очередь может улучшить выходные параметры органических перовскитных солнечных батарей.

Окислительная полимеризация с  $\text{FeCl}_3$  – наиболее простой метод синтеза полимеров на основе ТФА [2]. Данный метод не требует использования дорогостоящих катализаторов и токсичных элементоорганических соединений. В данной работе представлены полимеры на основе ТФА Д-А строения, полученные методом окислительной полимеризации. Изучены их свойства, а также представлены первичные данные, полученные при исследовании материалов в устройствах оптоэлектроники.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2024-0003).

### Ссылки

[1] Zhang C. A review on organic hole transport materials for perovskite solar cells: Structure, composition and reliability / C. Zhang, K. Wei, J. Hu, X. Cai, G. Du, J. Deng, Z. Luo, X. Zhang, Y. Wang, L. Yang, J. Zhang // Mater. Today. – 2023. Vol. 67. P. 518-547.

[2] Luponosov Y.N. Highly electrochemically and thermally stable donor–p–acceptor triphenylamine-based hole-transporting homopolymers via oxidative polymerization / Y.N. Luponosov, A.N. Solodukhin, I.A. Chuyko, S.M. Peregudova, S.A. Ponomarenko // New J. Chem. – 2022. Vol. 46. P. 12311.

УДК 541.64

## КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ПЕРВАПОРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО И СИЛЬНОРАЗВЕТВЛЕННОГО ПОЛИИМИДОВ

**Шамсутдинова Р.Н.<sup>1,2</sup>, Солдатова А.Е.<sup>1</sup>, Цегельская А.Ю.<sup>1</sup>, Монахова К.З.<sup>1</sup>, Бурть Е.С.<sup>3</sup>, Плиско Т.В.<sup>3</sup>, Бильдюкевич А.В.<sup>3</sup>, Кузнецов А.А.<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> *Институт синтетических полимерных материалов  
им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Профсоюзная, 70*

<sup>2</sup> *Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова МИРЭА  
Российского Технологического Университета, Москва, Пр-т Вернадского, 86*

<sup>3</sup> *Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси,  
Минск, Сурганова, 13  
E-mail: rshamsutdinova2001@gmail.com*

Ароматические полиимиды (ПИ) – класс полимеров, сочетающих комплекс уникальных свойств: высокие механические характеристики, химическая стойкость, теплостойкость, и т.п. Одним из перспективных направлений использования ПИ является изготовление мембран для разделения смесей газов и жидкостей. В данной работе методом одностадийной высокотемпературной каталитической поликонденсации в расплаве бензойной кислоты [1] получен линейный ПИ на основе 3,4-оксиданилина (3,4-ОДА) и диангирида 4,4'-(4,4'-изопропилиден-дифенокси)бис(фталевой кислоты) (диангирид А). Этим же методом из тетрамина 9,9'-бис-[4-(3,5-диамино-N-3,5-бензамидо)фенилфлуорена] и диангирида А синтезирован сильно разветвленный (СР) ПИ, который далее был использован в качестве добавки при изготовлении тонкопленочных ПИ мембран для разделения азеотропной смеси вода-изопропиловый спирт. Непористые пленочные мембраны получены отливкой из 2%-ных растворов в N-метилпирролидоне. Содержание добавки СР ПИ составляло 5, 10, 20 % по массе от массы линейного ПИ 3,4-ОДА-ДА. Установлено, что по сравнению с пленочной мембраной на основе линейного ПИ, первапорационная мембрана из композиции, содержащей добавку СР ПИ, имеет более рыхлую надмолекулярную структуру. Мембраны с добавкой 5–20 % СР ПИ при прочих равных условиях характеризуются более высокой эффективностью разделения. Наибольшую эффективность показала ПИ мембрана с добавкой 10 % СР ПИ.

### Благодарность

Работа в части синтеза и исследования линейного ПИ выполнена при поддержке совместного гранта РФФИ-БРФФИ № 20–53-04022 (Россия)-X21PM-058 (Беларусь), в части синтеза и исследования СВР -в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ, тема FFSM-2024-0002.

### Ссылки

[1] Кузнецов А.А./Синтез разветвленных полиимидов разной топологической структуры/ Кузнецов А.А., Солдатова А.Е., Цегельская А.Ю.// Высокомолекулярные соединения. Серия С –2020.– Т. 62.– № 2.– С. 122-144.

УДК 544.032.72

## ОБЛАСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТРЕЩИНЫ В ДИФфуЗИОННОЙ ЗОНЕ ЭПОКСИДНЫЙ ПОЛИМЕР - ПОЛИЭФИРСУЛЬФОН

Шапагин А.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,  
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, к.4  
E-mail: shapagin@mail.ru*

Для получения композиционных материалов, модифицированных термопластичными жесткоцепными волокнами, с высокой прочностью на межфазной границе волокно-связующее, можно создать технологические условия формирования диффузионной области термопласт - реактопласт с последующим ее отверждением. Данная работа была направлена на изучение межфазной диффузионной зоны волокно – связующее с целью выявления принципов формирования в ней «слабой области» по которой будет происходить разрушение композиции.

Целью работы было изучение растворимости исходных компонентов, формирования диффузионной зоны, структурообразования на межфазной границе и выявление «слабой области» в диффузионной зоне эпоксид-полиэфирсульфоновых отвержденных систем.

Объекты исследования: эпоксидный олигомер (ЭО) ЭД-20; полиэфирсульфон (ПЭСФ) с молекулярной массой 34000 г/моль; отвердитель диаминодифенилсульфон (ДДС) с температурой отверждения 180 °С.

Методом оптической интерферометрии (ОДА-2, Россия) изучены диффузионные зоны в системе ПЭСФ – ЭО. Построены диаграммы фазовых состояний эпоксидного олигомера с полиэфирсульфоном исходных и отвержденных смесей. Установлено, что система ПЭСФ – ЭД-20 относится к классу систем с аморфным расслоением и характеризуется нижней критической температурой смешения. Кинетическими исследованиями диффузионной зоны исходных компонентов показано, что при температуре 180 °С фазовые частички, сформировавшиеся по обе стороны от фазовой границы, со временем растворяются. При этом концентрационный скачок на фазовой границе сохраняется.

Методом электронной сканирующей микроскопии (Jeol JSM 6060A, Япония) изучена фазовая структура в диффузионных зонах отвержденных систем. Методом рентгеноспектрального микроанализа идентифицирован концентрационный скачок в области концентраций близкой к чистому ПЭСФ. Установлено, что величина концентрационного скачка и ширина области диффузионной зоны, характеризуемая скачком концентрации при ее формировании, определяются температурой выдержки системы на стадии взаимодиффузии. Получена информация для прогнозирования локализации трещины при приложении механических полей к отвержденной градиентной системе ПЭСФ – ЭД-20+ДДС.



УДК 678.033.3: 532.135

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭПОКСИПОЛИУРЕТАНОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ

**Шаповалова Д.А., Борисов С.В., Ваниев М.А., Новаков И.А.**

*Волгоградский государственный технический университет,  
Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28  
E-mail: dariarinka@yandex.ru*

Мировые тенденции разработки и применения полимерных связующих на основе эпоксидных смол определяют высокий спрос на данный вид материалов в передовых областях техники, таких как машиностроение, судостроение, авиационная техника, космос и др. Перспективным направлением в части модификации термоактивных связующих является создание биполимерных матриц, в частности путем растворения в эпоксидных олигомерах термопластов. При введении их в рецептуру наблюдается значительное повышение вязкости, что наряду с вопросами ограниченной совместимости, лимитирует применение высоких концентраций. Нами был предложен подход, основанный на введении разного количества термопластичного полиуретана (ТПУ) в триэтилентетрамин (ТЭТА) с последующим отверждением эпоксидиановой смолы ЭД-20 (Пат. РФ 2813712). Физико-механические характеристики полученных материалов достигают 110,6 МПа. Наличие износостойкого ТПУ в рецептуре позитивно сказывается на индексе сопротивления истиранию, данный показатель для модифицированных образцов увеличивается на 0,95-2,31 усл.ед.

В этой связи целью работы является исследование морфологических особенностей материалов на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 (ООО «Композит-проект»), отвержденной триэтилентетрамином (ООО «Композит-проект»), модифицированным термопластичным полиуретаном марки Есориг-Т (ООО «ПФ «Аксиос-Джет»).

Механически измельченный ПУ растворяли в ТЭТА при 80 °С с периодическим перемешиванием в течение 24 часов. Полученные растворы с концентрациями ПУ от 20 до 30 % масс. использовались в качестве отвердителя эпоксидиановой смолы в соотношении ЭД-20:ТЭТА = 10:1. Микроскопия композиций на основе ТЭТА, модифицированного ТПУ после воздействия температуры 60 °С показала большое количество коацерватных капель размером 10 – 40 мкм. При дальнейшей выдержке при 20 °С капли коалесцируют в более крупные размером до 400 мкм. Вместе с тем в образцах отвержденных материалов наблюдается наличие микрогетерогенной структуры. Предполагается, что ТПУ, благодаря наличию атома водорода при азоте уретановой группы, способен формировать в процессе отверждения химические связи с эпоксидным циклом. Данная информация значима в части подготовки, температурно-временных условий хранения перед применением модифицированного отвердителя, а также его влияния на структуру образующегося полимера в результате отверждения композиции.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (FZUS-2024-0001).

УДК 691.175

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ФАЗОВУЮ СТРУКТУРУ ОТВЕРЖДАЮЩИХСЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНЫХ СИСТЕМ С ПОЛЯРНЫМ И НЕПОЛЯРНЫМ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ МОДИФИКАТОРОМ

**Шаров К.И.**

*ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, Россия 119071, г. Москва, Ленинский пр., д.31, корп. 4  
e-mail: Deathknight\_91@mail.ru*

Современные полимерные отверждающиеся компаунды представляют собой многокомпонентные реакто-термопластичные системы, характеризующиеся гетерогенной структурой. Фазовая структура, формирующаяся в процессе химической реакции отверждения, определяется фазовыми равновесиями исходных систем и их эволюцией, сопровождаемой изменением диффузионных констант в процессе отверждения. Таким образом, структуру можно регулировать технологическими параметрами и изменением молекулярных масс исходных компонентов. Получение требуемых свойств материала посредством формирования необходимой фазовой структуры часто не согласуется с технологическими свойствами компаунда, например, вязкостью. В этой связи, нами проведены исследования влияния внешнего воздействия (электрического поля) на регулирование фазовой структуры отверждающихся композиций.

Объекты исследования – отвержденные системы эпоксидный олигомер (ЭД-20) – поликапролактон (ПКЛ)/поливинилацетат (ПВА) – 4,4' – диаминдифенилсульфон (ДДС). Отверждение проводили при температурах 180 и 120 °С для систем с ПКЛ и ПВА соответственно, в электрическом поле 9000 В на субстрате, оборудованном медными гребенчатыми электродами. Электрическое поле создавали высоковольтным источником питания НТ-15-20Р (Россия). Фазовую структуру исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на Jeol JSM 6060A (Япония).

Получены СЭМ-изображения отвержденных систем – эпоксидный олигомер (ЭО), модифицированный поликапролактоном (5–30 м.ч. относительно ЭО)/поливинилацетатом (15-30 м.ч. относительно ЭО). Выявлено влияние электрического поля на структурообразование: тип фазовой структуры, размеры и ориентацию структурных элементов. Установлено, что в системах, отверждённых в электрическом поле и имеющих фазовую структуру типа «матрица-дисперсия», ширина распределения фаз по размерам заметно сужается, размер фаз уменьшается, а их количество на единицу площади увеличивается. В системах, имеющих фазовую структуру типа «взаимопроникающие фазы», отверждение в электрическом поле изменяет соотношение объёмных долей фаз относительно системы отвержденной 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 сосуществующих фаз коррелирует со смещением фазовой диаграммы по оси концентраций.

Таким образом, выявлен факт влияния электрического поля при отверждении реакто-термопластичных систем без изменения физико-химических и технологических параметров на формирующуюся фазовую структуру, подчиняющийся моделированию смещением фазовой диаграммы по шкале концентраций в сторону концентрированных по эпоксиду растворов.

УДК544.777

## НАНО- И МИКРОГЕЛИ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ П-СТИРОЛСУЛЬФОКИСЛОТЫ

**Шевченко Н.Н., Лаишевкина С.Г., Иванькова Е.М., Якобсон О.Д.**

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр., 31  
E-mail: natali.shevchenko29@gmail.com*

Нано- и микрогели представляют собой мягкие, деформируемые и проницаемые коллоидные частицы. Их мягкость и способность реагировать на внешние раздражители, такие как температура, давление, рН, ионная сила и различные аналиты, делают их интересными в качестве модельных систем в фундаментальных исследованиях, а также для широкого спектра применений, в частности, в области биотехнологии. Недавние разработки при их синтезе открывают доступ к системам со сложной архитектурой и составом, позволяющим создавать микрогели с определенными свойствами. В то же время современные теоретические и модельные подходы позволяют глубже понять поведение и структуру нано- и микрогелей.

Синтез полиэлектролитных нано- и микрогелей на основе водорастворимых полимеров возможен при использовании метода обратной суспензионной полимеризации. Следует отметить, что для предотвращения растворения полимерных цепей после проведения реакции полимеризации необходимо в реакционную систему добавлять сшивающие агенты. При этом концентрация и природа сшивающего агента будет определять степень набухания и проницаемость конечных полиэлектролитных гелей.

В настоящей работе успешно синтезированы различные нано- и микрогели на основе сульфосодержащего полиэлектролита – поли(*n*-стиролсульфофосфорной кислоты). Комплексом методов исследования (ИК-спектроскопия, растровая электронная и оптическая микроскопии) охарактеризованы состав, а также морфология и структура полученных гелей. Показано, что введение сомономеров позволяет варьировать степень набухания гелей как в воде, так и в присутствии водного раствора модельного соединения – метиленового синего. Метиленовый синий относится к классу тиазиновых красителей и применяется в медицине в качестве антисептика для лечения инфекций ротовой полости и мочеполовых путей. В ходе работы было показано, что благодаря тому, что полиэлектролитные гели являются пористыми, а в состав полимерных цепей входят звенья с ионогенными группами, сорбция молекул метиленового синего идет как на поверхности таких частиц, так и в их объеме.

УДК 541.64; 544.023.26

## РАЗРАБОТКА ПОЛОВОЛОКОННЫХ МЕМБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ НАНОФИЛЬТРАЦИИ

**Шиканов С.С., Плиско Т. В., Бильдюкевич А. В.**

Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,  
220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Беларусь  
E-mail: iphoch2022@mail.ru

Композиционные мембраны для нанофильтрации получают при формировании полиамидного (ПА) селективного слоя на поверхности ультрафильтрационных (УФ) мембран-подложек методом межфазной поликонденсации (МП). Несмотря на высокую воспроизводимость при получении данным методом листовых композиционных мембран, образование равномерного, бездефектного слоя на поверхности полволоконных мембран сопряжено с большими трудностями из-за высокой кривизны поверхности.

На основе полволоконных УФ мембран-подложек из полиэфирсульфона с номинальным молекулярно-массовым пределом отсечения 20 кДа (ПЭС-20) производства ИФОХ НАН Беларуси были разработаны композиционные полволоконные мембраны для нанофильтрации с высокими транспортными характеристиками (удельная производительность (J) по воде при 0,5 МПа - 105 л·м<sup>2</sup>·ч<sup>-1</sup>) (таблица). В качестве аминного и ацильного компонентов при МП использовались растворы пиперазина в воде и растворы тримезоилхлорида (ТМС) в н-гексане, соответственно. Установлено, что определяющими факторами при получении селективного ПА слоя являются концентрация ТМС и время сушки полого волокна для завершения процесса МП и удаления гексана. Выявлено, что снижение концентрации ТМС до 0,015%, уменьшение температуры сушки с 80°C до 70°C и продолжительности сушки с 5 мин до 1 мин приводит к существенному увеличению удельной производительности композиционных мембран (таблица).

**Таблица - Транспортные свойства полволоконной нанофильтрационной мембраны**

Параметр	MgSO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	ПЭГ-300 <sup>1</sup>	СДМ <sup>2</sup>	Сахароза	Витамин В12
R, %	>99	>99	38	45	24	>99	77	>99	94
J, л·м <sup>2</sup> ·ч <sup>-1</sup>	57	21	27	32	39	54	49	66	69

<sup>1</sup>-полиэтиленгликоль с M<sub>n</sub>=300 г·моль<sup>-1</sup>

<sup>2</sup>-антибиотик сульфодиметоксин

На основе проведенных исследований разработан метод модификации высокопоточных гемодиализных модулей («Фребор», Беларусь) методом МП, что позволило получить нанофильтрационный мембранный элемент с высокими коэффициентами задерживания (R) по MgSO<sub>4</sub> (>99%), MgCl<sub>2</sub> (80%), антибиотику сульфодиметоксину (96%), сахарозе (>99%), витамину В12 (96%).

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х23ИНДГ-010).

УДК 54.057: 621.762: 621.74.02

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 3D ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПВДФ С НАПОЛНИТЕЛЕМ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДАМИ ЭКСТРУЗИИ И ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

**Шишковский И., Щербаков В.**

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Самара, 443011, Ново-Садовая 221  
E-mail: shiv@fian.smr.ru*

В связи с увеличением доли пожилого взрослого населения в развитых странах и возникающими в связи с этим многочисленными проблемами со здоровьем и физической активностью важность разработки систем дистанционного мониторинга биомедицинских сигналов в режиме реального времени становится актуальной. Гибкие и носимые датчики, интегрированные с модулями беспроводной передачи данных, являются ключевыми компонентами для локализации медицинских сенсоров, в том числе на перспективных моделях экзоскелетов. Биосовместимые полимерные (2D) пленки на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) давно известны, за счет своих сегнетоэлектрических свойств. ПВДФ имеет высокую степень кристалличности (более 50%) и существует в  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и  $\epsilon$  фазах, из которых только  $\beta$ -фаза – интересна для обсуждаемых приложений. Сополимеры ПВДФ с трифторэтиленом (ПВДФ-ТрФЭ) более удобны для использования в 3D аддитивных технологиях при создании изделий сложной формы. Это позволяет добиться более высоких выходных характеристик в сравнении с 2D изделиями, в которых ограничено использования деформации в нормальном направлении и поэтому эффективность преобразования таких пьезоэлектрических устройств невысока.

В данной работе представлены экспериментальные результаты 3D печати ПВДФ с пьезоактивными добавками (нано графен, титанат бария) методами экструзии полимера (FDM подход) и селективного лазерного спекания (SLS подход). Механические свойства тонких плоских 3D печатных образцов на растяжение сравнивались. 3D-печать FDM и SLS демонстрирует огромный потенциал, который 3D-проектирование конструкций может принести в оптимизацию пьезоэлектрических характеристик. Включение бессвинцовых пьезонаполнителей в полимерную матрицу сохраняет привлекательность таких изделий для медицины и улучшает электромеханические свойства. По сути, это новая стратегия регулирования пьезоэлектрической мощности изделий с помощью 3D-проектирования их конструкций.

### **Благодарность**

Автор благодарен инженерам центра материалов для технологий АНОО ВО Сколтех О. Дубинину за помощь при 3D печати FDM образцов и С. Коневу за их механические испытания.

УДК 541.64:539

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ ПВС – НМЖ В КАЧЕСТВЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Шур И.М., Русинова Е.В.**

*Уральский федеральный университет  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19  
retroy0228@gmail.com*

Полимерные жидкокристаллические композиты изучают и используют для построения различных электро-оптических устройств. По сравнению с обычными ЖК материалами они могут иметь неограниченные размеры и любую форму, не требуют поляризатора и герметика, характеризуются небольшими временами включения и выключения. Основное требование к полимерным ЖК композитам – взаимная нерастворимость полимера и низкомолекулярного ЖК (НЖК). Только в этом случае возможно образование капсул НЖК в матрице полимера. Разделение фаз полимера и НЖК в процессе получения композита может быть достигнуто с помощью разных способов: получение эмульсии НЖК в растворе полимера с последующим испарением растворителя; в процессе фазового разделения гомогенного раствора НЖК и полимера. Для реализации обоих этих методов необходимы данные о совместимости компонентов в широкой области температур, перекрывающей область переходов НЖК из изотропного в анизотропное состояние. Кроме того, представляет интерес исследование влияния магнитного поля на структуру композитов, температуры фазовых переходов индивидуального НЖК и НЖК в матрице полимера, а также на вид фазовой диаграммы тройной системы НЖК-полимер-растворитель. Такие данные в литературе отсутствуют.

В этой связи целью работы явилось получение композита на основе изотропного водорастворимого полимера и НЖК и изучение влияния магнитного поля на структуру композита и температуры фазовых переходов НЖК. Использовали термотропный НЖК *n*-бутил-*p*-этоксифенилокси-карбонил-фенилкарбонат и поливиниловый спирт (ПВС). Обнаружено, что температурный интервал нематической фазы находится в диапазоне 330 – 358 К. Процесс кристаллизации мезофазы имеет релаксационный характер. Получены данные о совместимости в тройной системе ПВС – НМЖ – растворитель.



УДК 541.64:539.3:621.355.9:66.017

## ПЕРЕРАБОТКА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В МИКРОПОРИСТЫЕ ЛЕНТЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СЕПАРАТОРОВ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЯХ

**Эйсмонт З.В.<sup>1</sup>, Петкиева Д.В.<sup>2</sup>, Голубев Е.К.<sup>2</sup>, Кечекьян А.С.<sup>2</sup>,  
Александров Ю.Д.<sup>3</sup>, Кубарьков А.В.<sup>3</sup>, Сергеев В.Г.<sup>3</sup>, Озерин А.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ЗАО «ТЕХПОЛИМЕР», г. Дивногорск, Улица Нижний проезд, 13/6

<sup>2</sup> ИСПМ РАН, г. Москва, Профсоюзная улица, 70

<sup>3</sup> Химический факультет МГУ, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 3.

E-mail: zveismont@gmail.com

Современное мировое состояние работ в области разработки полимерных сепараторов для химических источников тока характеризуется признанием того факта, что по совокупности ряда характеристик, таких как экономика производства, технические и эксплуатационные характеристики, возможности модификации с расширением областей применения и т.д., наиболее перспективным является использование сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) в качестве основы для производства пористых сепараторов для источников тока различных типов.

Целью данной исследовательской работы является разработка технологии изготовления микропористых сепараторов из СВМПЭ, пригодных для использования в литий-ионных аккумуляторах.

Для получения заготовок микропористых сепараторов монолитизированную ленту, полученную методом прямого безрастворного формования реакторного порошка СВМПЭ со специальной морфологией и наноструктурой, подвергали набуханию в высококипящем растворителе с последующим замещением низкокипящим растворителем, который, в свою очередь, удаляли из заготовки сначала при комнатной, а затем при повышенной температуре. Полученные заготовки подвергали двуслойной ориентационной вытяжке с получением пористых лент, для которых определяли физико-механические и электрохимические характеристики при использовании в качестве сепаратора в электрохимической ячейке.

В качестве высококипящего растворителя в разрабатываемой технологии использовали такие органические растворители как декалин, вазелиновое масло, скипидар. Показано, что стадия вытяжки полученных микропористых лент из СВМПЭ существенно влияет как на характеристики самого сепаратора, так и на показатели электрохимической ячейки в целом.

Изготовление микропористых сепараторов описанным выше способом характеризуется низкой себестоимостью производства, простотой реализации процесса, возможностью изменять характеристики сепараторов в широких пределах и позволяет получить образцы, превосходящие, по ряду показателей, характеристики образцов сепараторов, используемых в настоящее время в промышленном производстве литий-ионных аккумуляторов.

УДК 675.043.84

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПРОПИЛЕНОКСАЛАТА

**Якимов Н.П., Фомин Е.О., Мелик-Нубаров Н.С.**

*МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, ул. Ленинские горы д. 1  
E-mail: nikolai.iakimov@chemistry.msu.ru*

В последнее время огромное внимание уделяется системам для доставки лекарств на основе биоразлагаемых полимеров, образующих в водной среде мицеллы, полимерные наночастицы или везикулы. Одним из перспективных классов биodeградируемых полимеров для доставки лекарств являются полиоксалаты, для которых характерна высокая скорость гидролиза. Они могут быть получены методами поликонденсации или полимеризации. Получение полиоксалатов в ходе полимеризации изучено крайне слабо несмотря на потенциальную возможность синтеза полимеров, обладающих различной архитектурой и узким ММР. В литературе имеется лишь несколько упоминаний о принципиальной возможности синтеза полиоксалатов из циклических мономеров под действием кислот Льюиса. В настоящей работе были изучена полимеризация пропиленоксалата под действием октаноата олова.

Циклический пропиленоксалат синтезировали по реакции между пропиленгликолем и оксалилхлоридом с последующей деполимеризацией высокомолекулярного продукта. Полимеризацию пропиленоксалата проводили в расплаве при 100 оС. В ходе процесса наблюдалось выделение белого осадка. С помощью рентгенофазового анализа и термогравиметрии было установлено, что выпадающий осадок – оксалат олова (II).

Анализ органических продуктов реакции при помощи гелипроникающей хроматографии и спектроскопии ЯМР показал, что равновесная конверсия мономера при 100 оС составляет 96.2 %, а молекулярная масса полимеров, полученных без добавления в систему инициатора, достигает значений 10 кДа при индексе полидисперсности около 2. Кроме того, оказалось, что в ходе полимеризации образуется значительное количество олигомеров (порядка 10%), которые, согласно данным масс-спектрометрии MALDI-TOF, имеют циклическую структуру. При этом подавляющее большинство линейных молекул содержат две концевые гидроксильные группы. Добавление в реакционную смесь бензилового спирта в качестве инициатора приводит к закономерному снижению молекулярной массы получаемых полимеров. Было обнаружено, что с помощью ЯМР-спектроскопии можно определить содержание концевых гидроксильных групп двух типов, а также количественно оценить концентрацию примесных инициаторов.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-23-00119).

УДК544.773.432

## ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СУЛЬФОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КРИОГЕЛЕЙ

**Якобсон О.Д.<sup>1</sup>, Шевченко Н.Н.<sup>1</sup>, Волков А.И.<sup>2</sup>, Кондратьев В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр., д.31*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии  
Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский проспект, д. 26  
E-mail: iakobson.olga@yandex.ru*

Значительный научный интерес к исследованию гидрогелей на основе полимерных сульфонов обусловлен их выраженными полиэлектролитными свойствами, что определяет наличие у таких объектов способности к объемному фазовому переходу в зависимости от условий внешней среды и позволяет, таким образом, создавать на их основе переключаемые «умные» системы.

В качестве подхода к получению макропористых гелей в настоящее время уверенно зарекомендовал себя процесс криотропного гелеобразования, при этом фиксация криогелей на проводящей поверхности открывает возможность к созданию электрохимических датчиков, где криогель может выполнять функции (1) высокопроницаемой матрицы для аналитов, (2) иммобилизирующей/непроницаемой матрицы для более крупных молекул и (3) защиты поверхности электрода от нежелательного воздействия окружающей среды.

В настоящей работе успешно синтезированы различные ионогенные криогели на основе цвиттерионного сульфосодержащего полиэлектролита при варьировании природы второго сомономера. Комплексом методов исследования (ИК-спектроскопия, растровая электронная и оптическая микроскопии) охарактеризованы, состав, а также морфология и структура полученных криогелей. Показано, что введение сомономера позволяет варьировать степень набухания криогелей как в воде, так и в присутствии водных растворов солей металлов (на примере, ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ). Методом циклической вольтамперометрии изучено влияние состава и структуры криогелей на основе комплексов сульфосодержащего полиэлектролита с ионами меди на электрохимические свойства полученного электродного материала. Полученный при включении ионов  $\text{Cu}^{2+}$  электроактивный гидрогелевый слой демонстрирует обратимые процессы перезарядки меди, сопряженные с электрохимически контролируемым изменением объема. Проведена оценка перспективности использования разработанных материалов в качестве управляемых сорбентов токсичных металлов.

УДК 544.777

## САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ ЧАСТИЦЫ ЯДРО/ОБОЛОЧКА С ВЫРАЖЕННЫМ СОЛЬВАТО- И ТЕРМОХРОМИЗМОМ

**Якобсон О.Д., Шевченко Н.Н., Иванькова Е.М.**

*Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр., д. 31  
E-mail: iakobson.olga@yandex.ru*

Первые работы по синтезу полимерных частиц структуры ядро/оболочка относятся к началу 90-х годов XX века, однако, до сих пор не решена проблема направленного управления морфологией и структурными характеристиками таких частиц. При этом с точки зрения практического применения именно эти параметры будут определять степень взаимодействия биологических и химических агентов с поверхностью частиц, а также их способность к организации в объекты более высокого порядка. Это породило новый виток интереса к таким системам в настоящее время.

В представленной работе частицы структуры ядро/оболочка субмикронного размера получали полимеризацией смеси акрилатов в присутствии заправочных ядер монодисперсного полистирола или его сополимера с метилметакрилатом. Прослежено развитие морфологии полимерных частиц ядро/оболочка по мере их синтеза и установлены факторы, определяющие структуру поверхностного слоя частиц. Выявлено, что в зависимости от целевого использования разработанные подходы позволяют целенаправленно получать как частицы с развитой удельной поверхностью и неоднородной структурой, включающей вмятины на поверхности частиц, так и частицы с гладкой поверхностью и минимальной полидисперсностью.

Показано, что монодисперсные частицы как с гладкой, так и шероховатой поверхностью способны к самосборке в тонкопленочные трехмерно упорядоченные структуры, проявляющие термо- и сольватохромизм (по отношению к парам этанола). Время реакции пленок на указанное внешнее воздействие составляет не более 1 минуты, а чувствительность зависит от способа синтеза и состава частиц и может быть «настроена» в зависимости от практических задач. Полученные результаты позволяют предполагать, что пленки, сформированные на основе синтезированных частиц, могут составить основу для создания тонкопленочных сенсоров, позволяющих проводить мониторинг химического и термического воздействия в режиме реального времени.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-23-00501

УДК 544.4

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КАТАЛИЗАТОРА ЦИГЛЕРА–НАТТА НА СОСТАВ И МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОПОЛИМЕРОВ ЭТИЛЕНА И ГЕКСЕНА

**Peng Guan<sup>1</sup>, Микенас Т. Б.<sup>2</sup>, Мацько М. А.<sup>2</sup>, Захаров В. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, РФ

<sup>2</sup>Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, 630090, г. Новосибирск,

пр-кт Ак. Лаврентьева, 5, РФ

E-mail: guanpeng0615@mail.ru

Полиэтилен (ПЭ) является наиболее широко используемым полимером в мире. В настоящее время большая часть ПЭ ( $\approx 50\%$ ) производится с использованием высокоактивных катализаторов Циглера–Натта (ЦН).

Изучены кинетика сополимеризации этилена с  $\alpha$ -олефинами (гексен-1, пропилен) на высокоактивных наносенных на  $MgCl_2$  катализаторах ЦН различного состава: Ti-Mg катализаторах (ТМК), отличающихся составом и степенью окисления титана ( $Ti^{2+}$ ,  $Ti^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ), и V-Mg катализаторах (ВМК:  $VCl_4/MgCl_2$ ), отличающихся содержанием ванадия (4 и 0,1 мас. % V), а также - молекулярно-массовые, термо- физические характеристики и состав полученных сополимеров. Установлено, что ТМК, содержащие изолированные соединения  $Ti^{2+}$  в качестве активного компонента, имеют повышенную сополимеризующую способность в реакции сополимеризации  $C_2H_4$  с  $\alpha$ -олефинами и позволяют получать сополимеры с более равномерным распределением сомономера по сравнению со стандартным ТМК ( $TiCl_4/MgCl_2$ ), а также - рентгеноаморфные этилен- пропиленовые эластомеры. Было обнаружено, что введение 1-гексена при полимеризации на ВМК приводит к уширению ММР сополимера относительно гомополиэтилена за счет снижения молекулярной массы только в низкомолекулярной области. Этот результат свидетельствует о неоднородности активных центров этих катализаторов в реакции переноса цепи с участием 1-гексена. При этом активные центры ВМК, производящие высокомолекулярный ПЭ, практически не участвуют в реакции переноса цепи с 1-гексеном. В то же время эти центры более реакционноспособны для внедрения 1-гексена. Это приводит к необычному распределению бутильных разветвлений в сополимерах этилена–1-гексена, а именно к повышенному содержанию бутильных разветвлений в высокомолекулярной фракции сополимеров ( $M_w > 1000$  кг/моль).

### Благодарность.

Работа выполнена при поддержке бюджетного проекта № FWUR-2024-0037 Института катализа имени Г.К. Борескова (Новосибирск) и нефтехимического научно-исследовательского института PetroChina (Дацин).

УДК 541.64:547.995

## СПЕКТРЫ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НАНОКОМПОЗИТОВ ПВС-Ag, ПОЛУЧЕННЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ

**Абатурова Н.А.,** Хлебникова О.А., Галушко Т.Б., Ломовская Н.Ю., Зайтелло А.А.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина,  
Ленинский пр. 31 к.4, Москва 119071, Россия  
e-mail: Lomovskoy@phych.e.ac.ru*

В данной работе были получены пленки из водного раствора поливинилового спирта (ПВС) и нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$  при воздействии ультрафиолетового облучения (УФ). Методом релаксационной спектроскопии при использовании горизонтального крутильного маятника [1] изучено влияние наполнителя на физико-химические и релаксационные свойства полученных композитов.

Полученные спектры внутреннего трения характеризуются двумя локальными по температуре пиками диссипативных потерь  $\gamma$  и  $\alpha$  (рис.1), независимо от состояния серебра в структуре ПВС. При наличии хелатов ПВС- $\text{Ag}^+$  снижается интенсивность пика  $\gamma$ , ответственного за колебания  $\text{OH}$  – групп, который частично восстанавливается после облучения образцов УФ – светом.

Модуль сдвига  $G(T)$  для исходной матрицы ПВС выше, чем модуль сдвига для наполненной системы (ПВС- $\text{AgNO}_3$ ). Смещается температура проявления  $\gamma$  процесса в область более низких температур. В хелатной форме интенсивность  $\gamma$ -пика значительно снижается, что обусловлено связыванием гидроксильных групп ионами серебра. После УФ облучения серебро восстанавливается в виде наночастиц, происходит разрушение хелатов, а исходная структура ПВС частично восстанавливается.

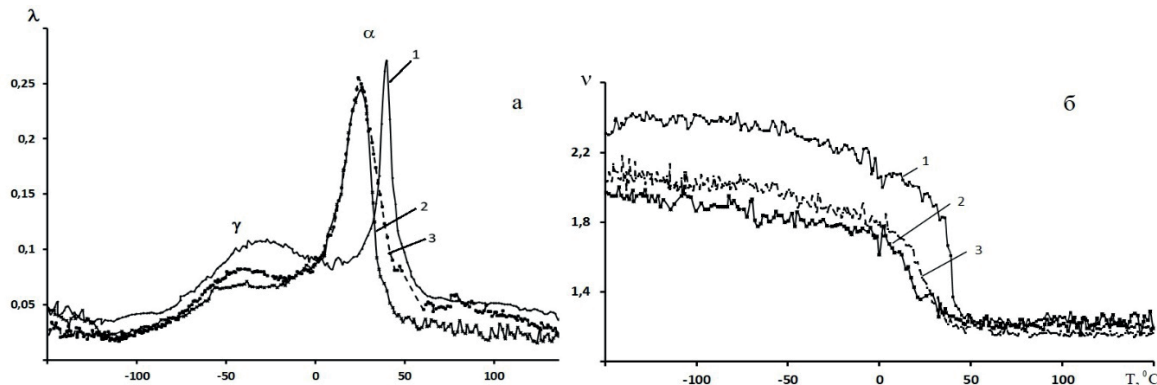


Рис.1 Температурные зависимости логарифмического декремента  $\lambda$  (а) и частоты (б) свободно затухающих колебаний. 1- чистый ПВС, 2- ПВС+  $\text{AgNO}_3$ , хелатная форма, 3- ПВС с наночастицами серебра.

### Ссылки

1. Ломовской В.А. Устройство для исследования локальных диссипативных процессов в твердых материалах различной химической природы, строения и структуры. // Научное приборостроение 2019. Т.29. №1. С.33-46.



УДК 544.77

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

**Абрамов В.А.<sup>1</sup>, Богданова С.А.<sup>1</sup>, Гатауллин А.Р.<sup>1</sup>, Аллаяров С.Р.<sup>2</sup>, Галяметдинов Ю.Г.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, Московская обл., Россия  
e-mail: abramovv660@gmail.com

Одним из основных ограничений использования полимерных гелей на основе сшитой полиакриловой кислоты (карбомеров) при электрофорезе лекарственных средств и биологически активных веществ (БАВ) является их низкая электропроводимость. Электрические и реологические свойства гелевых систем могут быть модифицированы с помощью углеродных наночастиц, которые вводятся в гели в виде водных дисперсий [1]. Вместе с тем, одним из способов модификации карбомеров является применение ионизирующего облучения [2]. В связи с этим, целью работы было получение и исследование полимерных гелей на основе  $\gamma$ -облученного карбомера, модифицированных углеродными наночастицами и неионогенными поверхностно-активными веществами (НПАВ).

Исследование гелевых систем на ротационном вискозиметре «Reotest RN 4.1» показало, что добавка НПАВ снижает вязкость гелей и предел текучести, тогда как введение дисперсий наночастиц почти не влияет на реологические характеристики. Кондуктометрическим методом установлено, что введение углеродных наночастиц повышает удельную электропроводимость гелей в 1,2-1,7 раза. Исследование высвобождения диклофенака натрия из гелевых систем методом Кривчинского показало, что при электрофорезе из гелей с УНТ высвобождение диклофенака натрия увеличивается в 1,5-2 раза, а в случае фуллерена  $C_{60}$  в 1,4-2,4 раза по сравнению с гелями без наночастиц. Установлено, что  $\gamma$ -облучение карбомеров дозой 30 кГр на установке «Гамма-100» приводит к уменьшению вязкости геля в 2 раза и увеличению высвобождения лекарственного средства в 1,4 раза без электрофореза. Оценка токсичности гелей не выявила негативного воздействия на здоровье лабораторных мышей при нанесении на кожу и внутрижелудочном введении [3].

### Ссылки

- [1] Гатауллин, А.Р. Электропроводящие свойства гелей и пленок на основе полиакриловой кислоты с дисперсиями углеродных нанотрубок / А.Р. Гатауллин, С.А. Богданова, С.А. Шевцова, Ю.Г. Галяметдинов // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, №4. – С. 18-22.
- [2] Абрамов, В.А. Реологические свойства гелевых систем на основе гамма-облученной редкосшитой полиакриловой кислоты / В.А. Абрамов, А.Р. Гатауллин, С.А. Богданова [и др.] // Химия высоких энергий. – 2023. – Т. 57, № 6. – С. 460-464.
- [3] Allayarova, U.Yu. Influence of gamma radiation on the toxicity of lightly crosslinked polyacrylic acid and gel based on it // U.Yu. Allayarova, E.N. Klimanova, T.E. Sashenkova [et al.] // High Energy Chemistry. – 2024. – V. 58, №1. – P. 127-133.

## ПЕРСПЕКТИВА СОЗДАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ БИОКОМПОЗИТОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ АГЕНТОВ УСКОРЕНИЯ АБИОТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

**Абушахманова З.Р.<sup>1,2</sup>, Пантюхов П.В.<sup>1,2</sup>, Воробьева Е.В.<sup>2,3</sup>, Атаханов А.А.<sup>4</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва

<sup>2</sup>ФГБУ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, г. Москва

<sup>3</sup>УО Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

<sup>4</sup> Институт химии и физики полимеров Академии наук Республики Узбекистан,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

E-mail: Zubarzhat.akh@gmail.com

В последние несколько десятилетий обращение с твердыми бытовыми отходами (ТБО), связанное с растущим использованием пластиковых материалов, стимулировало рост интереса к оксобиоразлагаемым полимерам. Пластмассы, которые рекламировались как «оксоразлагаемые» или «оксобиоразлагаемые» изготавливаются из полиолефина с добавлением оксодобавок, которые имитируют биоразложение. Однако основной эффект окисления – это простое дробление материала на мелкие частицы, которые остаются в окружающей среде. Лидирующими производителями оксодобавок на сегодняшний день являются Symphony (D2W) и Epi Environmental Plastics Inc. (TDPA). Оксодобавки основаны на соединениях с ионами переходных металлов, в основном Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> и Ti<sup>4+</sup>. Ионы переходных металлов изменяют свою степень окисления, поглощая УФ-свет и вызывая образование радикалов, которые инициируют окисление полимерных макромолекул и автокаталитический процесс, который приводит к резкому снижению молекулярной массы и образованию кислородсодержащих групп, что в свою очередь, приводит к быстрому фрагментированию изделий.

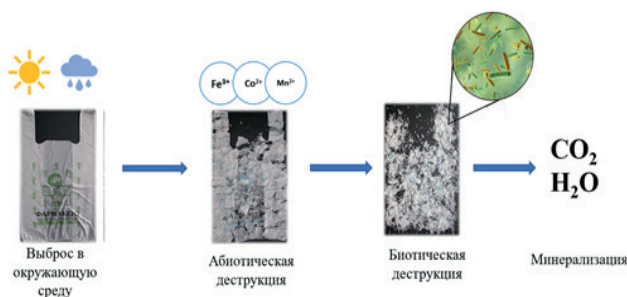


Рис.1. Механизм деградации оксобиоразлагаемых изделий

Для решения проблемы микропластика, предлагается разработать оксобиоразлагаемые материалы на основе синтетического полиолефина, биоразлагаемого полимера и оксодобавки, которые будут разлагаться в несколько этапов (рис.1). На первом этапе под воздействием факторов окружающей среды изделие разрушается на мелкие фрагменты – абиотическое разложение. Далее, молекулы с низкой молекулярной массой проходят через клеточную мембрану и ассимилируются микроорганизмами с образованием биомассы – биотическое разложение. Наконец, биомасса минерализуется для производства энергии путем дыхания.

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭВГЕНОЛОМ СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ОЛИГОМЕРЫ И ПОКРЫТИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

**Агеенков А.Д., Солдатов М.А.**

ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», г. Москва, Миусская пл., д.9  
E-mail: adageenkov@mail.ru

Разрушение различных конструкционных материалов и изделий в агрессивных атмосферных условиях является вызовом к разработке более стойких и совершенных олигомеров и полимеров для адгезионных покрытий с барьерными свойствами. В частности, предотвращающих коррозию и стремительное старение металлов и полимеров [1], [2]. В настоящей работе мы представляем синтез нового олигосилесквиоксана, содержащего ковалентно-связанный ингибитор коррозии природного происхождения, и его мономера (рисунок 1).

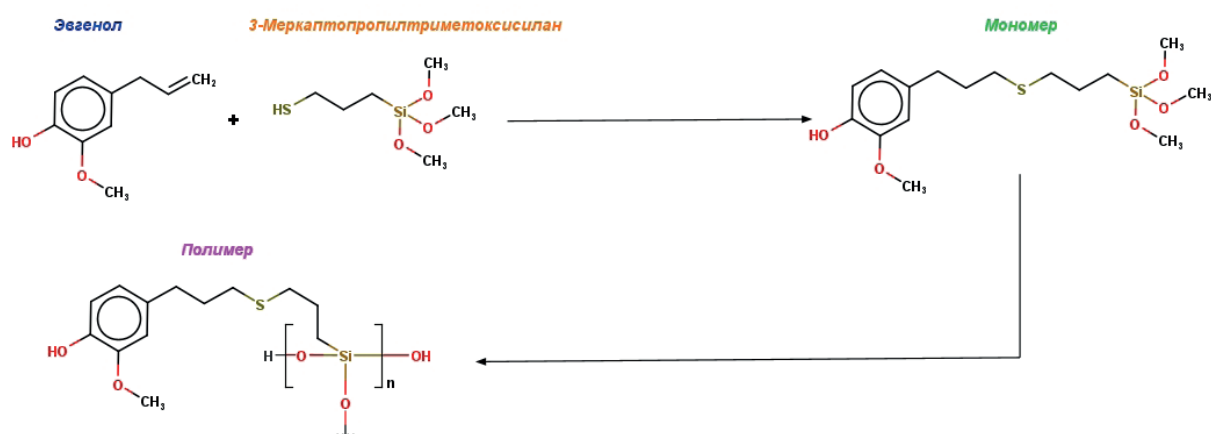


Рисунок 1. Схема синтеза мономера и полимера на его основе

В основе синтеза мономера лежит реакция гидротиирования, которая может быть инициирована фотохимическими или термохимическими инициаторами, обеспечивающими различную селективность и выход продуктов. Олигосилесквиоксан синтезирован традиционными методами (ацидо)гидролитической поликонденсации (АГПК и ГПК) органоалкоксисиланов. Мономер и олигосилесквиоксаны охарактеризованы методами ГХ-МС,  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{29}\text{Si}$  ЯМР спектроскопией. Температурные переходы определены методом ДСК при скорости нагревания 10К/мин; ГПК: стеклование  $T_g = -6,0^\circ\text{C}$ , отверждение  $T_c = 145-190^\circ\text{C}$ ; АГПК:  $T_g = -6,5^\circ\text{C}$ , отверждение отсутствует.

### Ссылки

- [1] Chen, G. Eugenol-modified polysiloxanes as effective anticorrosion additives for epoxy resin coatings / Chen, G., Feng, J., Qiu, W., Zhao, Y. // RSC Advances. – 2017. Vol. 7, № 88. – P. 55967–55976.  
[2] Priyantha, N. Inhibitive Action of Selected Model Compounds of Eugenol on Mild Steel Corrosion in Salty Medium / Priyantha, N., Jayasingha, J. M. S., Wijesooriya, W. M. G. S. // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2021. Vol. 57, № 2. – P. 412–421

УДК 66.095.26:54.44:[547.538.141+661.742.141]

## ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАНИЯ ПОЛИСТИРОЛА И ПОЛИМЕТИЛАКРИЛАТА С УЧАСТИЕМ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ $\text{CuBr}$ И $\text{CuBr}_2$ В ОТСУТСТВИИ И ПРИСУТСТВИИ КИСЛОРОДА ВОЗДУХА

**Аль-Карави Ф.Х.**, Калинина Д.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, к. 5  
E-mail: fatimahs@mail.ru*

Радикальная полимеризация с переносом атома Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP) является одним из инструментов для получения уникальных линейных и нелинейных макромолекул с определенными молекулярно-массовыми характеристиками и функциональными фрагментами. Наличие w-концевого атома галогена в полимерных продуктах ATRP позволяет осуществлять дальнейшую функционализацию макромолекул путем проведения различных превращений.

Нашей группой разработаны подходы сочетания в присутствии спиновых ловушек по методу Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling (RTA-ATRC), приводящие к образованию симметричных высокомолекулярных алкоксиаминов (ВАА) с заданной молекулярной массой. Процессы сочетания для полистирола (ПС) и полиметилакрилата (ПМА), полученных методом ATRP, реализовывали как в вакууме, так и в присутствии кислорода воздуха в широком температурном интервале 30-80 °С. В качестве спиновой ловушки был выбран С-фенил-N-трет.бутилнитрон (ФБН), активация макромолекул проводилась под действием каталитических систем на основе  $\text{CuBr} : \text{Cu}(0)$  и  $\text{CuBr}_2$  : аскорбиновой кислоты в присутствии N,N,N',N'',N''-пентаметилдиэтилен-триамина.

Установлено, что система  $\text{CuBr} : \text{Cu}(0)$  в присутствии ФБН наиболее эффективна при осуществлении подхода в вакууме. Степень сочетания ПС за 2 ч при 80 °С составляет 0.9, а ПМА при 30 °С за 20 часов – 0.73. Выявлено, что каталитическая система на основе  $\text{CuBr}_2$  и аскорбиновой кислоты позволяет реализовывать указанный подход не только в вакууме, но и в присутствии кислорода воздуха, при этом аскорбиновая кислота выполняет одновременно роль восстановителя  $\text{CuBr}_2$  и деоксигенатора. Степень димеризации ПС и ПМА за 6 часов при 60 °С при проведении процесса RTA-ATRC на воздухе достигает 0.6.

Наличие нитроксильного фрагмента в цепи полистирола и полиметилакрилата было доказано деструкцией ВАА при температуре 130 °С, приводящей к снижению молекулярной массы до исходных значений, а также получением блок-сополимеров с N-винилпирролидоном и акрилонитрилом в температурных режимах 90-130 °С.

УДК 539.231

## МЕТОД МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ СВОЙСТВАМИ

**Байгузин Г.Ф.<sup>1</sup>, Бокова Е.С.<sup>1</sup>, Малышев П.Б.<sup>2</sup>, Курбангалеев В.Р.<sup>2</sup>,  
Шмелин П.С.<sup>2</sup>, Гребенников Е.П.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> *МИРЭА — Российский технологический университет, Россия, Москва*

*E-mail: bayguzhing@mail.ru, esbokova@yandex.ru, grebennikov@mirea.ru, pshmelin@yandex.ru,  
vageese@yandex.ru, pavel.malyshev2@gmail.ru*

Текстильные материалы с проводящими свойствами представляют практический интерес для применения в качестве изделий специального назначения, таких как защитные настенные экраны, шторы и жалюзи. Как правило, все текстильные носители являются диэлектриками и для придания им проводящих свойств необходимо применение специальных методов и приемов обработки, таких как напыление металлов, модификация специальными токопроводящими составами и др. При этом на свойства готового изделия влияют как структурные особенности текстильного носителя, так и вид модификатора.

Целью настоящей работы являлась металлизация поверхности текстильных материалов методом магнетронного напыления.

В качестве объектов для напыления использовали образцы текстильных материалов с гладкой и ворсистой поверхностью и с сильно и слабо выраженным переплетением нитей. В качестве магнетронной мишени применяли медь. Напыление производили на установке Alcatel SCM 651 (650) при разряде тока 1,5 А в течение 20 мин. Анализ поверхности ткани до и после обработки производили с помощью микроскопа-спектрофотометра МСФУ-К. удельное электрическое сопротивление измеряли с помощью мультиметра Agilent U1253А.

Структурный анализ образцов показал, что характер оседания металла на поверхность текстильного носителя зависит от фактуры ткани. Образцы с «гладкой» поверхностью и неявно выраженным рельефом переплетения имели значение сопротивления 2-5 Ом, что свидетельствует об эффективности обработки. Для образцов с фактурной поверхностью и наличием ворса электрическое сопротивление отсутствовало вследствие неравномерного напыления и разрыва металлического слоя в местах переплетения нитей.

УДК: 678.6

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Балагова М.З., Байказиев А.Э., Мамхегов Р.М., Мурзаканова М.М., Хаширова С.Ю.**

*Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова,  
КБР, г.Нальчик, 360004, ул.Чернышевского, 173  
E-mail: xadaeva.marina@mail.ru*

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) представляет собой полимер с высокими эксплуатационными характеристиками, который востребован в различных областях промышленности: текстильной, упаковочной (пленки для продуктов, бутылки), машиностроительной и электротехнической. Процесс синтеза ПЭТФ ведется в присутствии катализатора, при повышенной температуре. В настоящее время на производстве ПЭТФ в России используется катализатор на основе сурьмы. Однако, сурьма считается токсичным металлом и относится ко 2 классу опасности. Следовательно, большой интерес вызывает поиск альтернативного экологически безопасного и эффективного катализатора.

В работе исследовано влияние комплексных титансодержащих катализаторов на физико-химические свойства ПЭТФ. Определены такие показатели синтезированных образцов ПЭТФ, как кислотное число, концевые карбоксильные группы, количество содержания ацетальдегида и диэтиленгликоля, показатели прозрачности и цветности.

Выявлено, что азотсодержащие хелатные комплексы титана проявляют высокую каталитическую активность и дают лучшие результаты по цветности и по количественному содержанию ацетальдегида и диэтиленгликоля по сравнению с промышленными катализаторами на основе титана.

Разработанные комплексные титансодержащие катализаторы заметно улучшили технологичность синтеза и качество получаемого ПЭТФ по сравнению с тетрабутоксититаном, тетраизопропоксититаном и  $Sb_2O_3$ .

Работа выполнена в рамках Комплексного научно-технического проекта полного инновационного цикла «Создание экологически безопасных промышленных производств базовых высокотехнологических химических продуктов для автомобильной, строительной, медицинской и пищевой промышленности из углеродного сырья на основе инновационных отечественных научных разработок» (№ госрегистрации 122111000099-6).



УДК 54.03

## ГИДРОФИЛИЗАЦИЯ ГИДРОФОБНЫХ МЕЗОПОРИСТЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ МЕТОДОМ ОЗОНИРОВАНИЯ

**Большакова А.В.<sup>1</sup>, Тюбаева П.М.<sup>2</sup>, Заикин А.С.<sup>1</sup>,  
Наконечный Е.И.<sup>3</sup>, Сорочинская С.А.<sup>1</sup>, Аржакова О.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, 119991 Ленинские горы д1 стр 3

<sup>2</sup> Российский экономический университет

им. Г.В. Плеханова, Москва, 117997, Стремянный пер., 36

<sup>3</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, 119991 Ленинские горы д1 стр 2

E-mail: bolshakova@genebee.msu.ru

В данной работе исследовали гидрофилизацию гидрофобных мезопористых мембран на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) методом озонирования. Мезопористые мембраны из ПЭВП были получены по методу межкристаллитного крейзинга в физически активной жидкой среде. Пористость получившихся мембран составляла 50%, а размеры пор 10 нм. Обнаружено, что угол смачивания мезопористых мембран увеличивается с 96° (исходный ПЭВП) до 120° за счет образования нано/микромасштабного рельефа и повышенной шероховатости поверхности (см. Рис.).

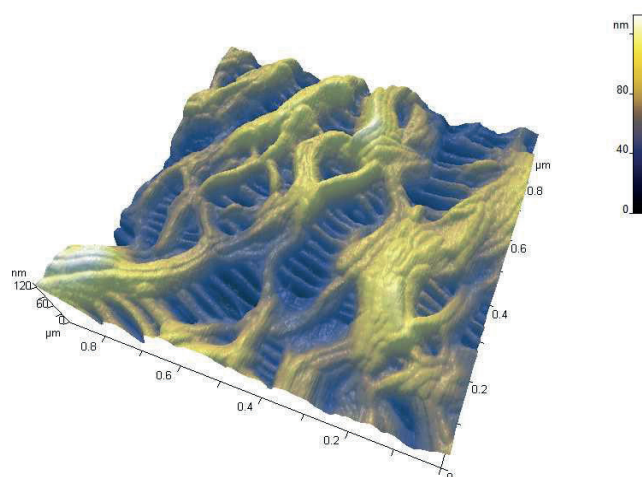


Рисунок. АСМ-изображение ПЭВП мембраны

Полученные мембраны непроницаемы для воды (порог проникновения воды составляет 250 бар). Изготовленные мембраны из ПЭВП были подвергнуты озонированию. После озонирования мембраны были исследованы различными физико-химическими методами, включая дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК), атомно-силовую микроскопию (АСМ), ИК-спектроскопию и др.

Благодаря озонированию улучшилась смачиваемость мембран: угол смачивания уменьшился со 120° до 60°, и они стали проницаемыми для воды. АСМ-изображения выявили заметное сглаживание рельефа поверхности.

Таким образом, было доказано, что озонирование является простым и эффективным инструментом для модификации поверхности гидрофобных мезопористых мембран из полиэтилена высокой плотности, а также может обеспечить их эффективную стерилизацию в биомедицинских целях и для очистки воды.

УДК 67.678

## МОДИФИКАЦИЯ ЭПОКИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ ФОСФАТАМИ МЕДИ ДЛЯ ПРИДАНИЯ ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТИ

**Борисов С.В., Любимогов А.А., Ваниев. М.А.**

*ВолгГТУ, Волгоград, пр. им. Ленина, 28*

*E-mail: borisov.volgograd@yandex.ru*

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол широко распространены и используются в различных областях, однако имеют ряд недостатков, таких как горючесть, недостаточно высокую теплостойкость и модуль упругости. Одним из интересных направлений получения полимеров с пониженной горючестью являются композиции, содержащие в своём составе фосфор-, азот- и металлсодержащие вещества.

В работе исследованы олигомерные композиции и материалы на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20, ортофосфорной кислоты, гидрофосфата аммония, кристаллогидрата гидрофосфата меди и отверждающего агента триэтилентетрамина. В качестве образца сравнения использовались образцы на основе эпоксидиановой смолы и триэтилентетрамина без введения модификаторов.

При проведении реокинетических исследований методом ротационной вискозиметрии время гелеобразования при отверждении исследуемых олигомерных композиций находилось в интервале 70 – 490 мин. ИК-спектральное исследование отвержденных материалов позволило выявить наличие полос поглощения 1500, 1250 и 1050 – 1010 см<sup>-1</sup>. Предположительно это является следствием образования при отверждении связей N-O, P-O и P-OR. Методом оптической микроскопии установлено, что в образцах полимеров вводимый модификатор формирует агломераты и сферические частицы неоднородно распределенные по форме и размерам. В результате физико-механических испытаний (статический трёхточечный изгиб при скорости движения верхней траверсы 2 мм/мин) установлено, что разрушающее напряжение, модуль упругости и относительная деформация при статическом изгибе достигают 89,2 МПа, 3,9 ГПа и 3,1 %, соответственно. Значения кислородного индекса разработанных полимеров находятся в пределах 23,0 – 25,1 % об. Температура изгиба под нагрузкой 1,8 МПа с увеличением содержания модификатора в образцах уменьшалась с 84,6 до 60,2 °С. Аналогичная зависимость зафиксирована в результате исследований термоокислительной деструкции разработанных материалов в атмосфере воздуха: начальная температура деструкции уменьшалась от 345 до 325 °С. Предположительно, это может происходить из-за снижения плотности сшивки с увеличением содержания модификатора в виду взаимодействия фосфорной кислоты и триэтилентетрамина, что в целом уменьшает содержание отверждающего агента.

Работа выполнена при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (шифр проекта FZUS-2024-0001).

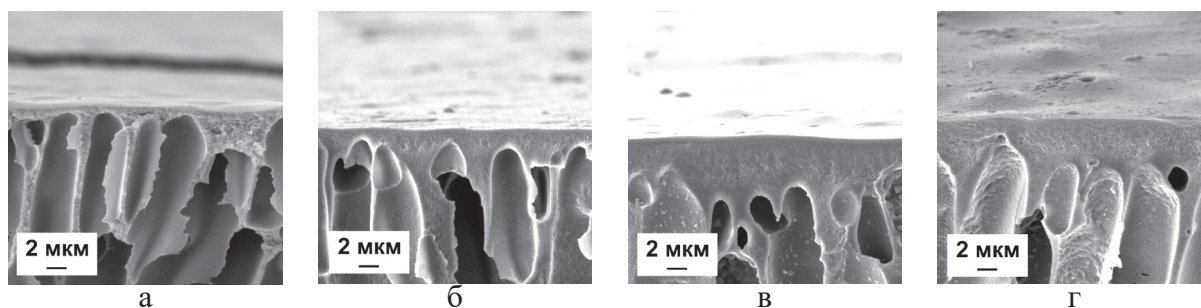
УДК 544.162, 544.725.2, 544.725.7

## НОВЫЙ МЕТОД МОДИФИКАЦИИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

**Бурть Е.С., Краснова М.В., Яскевич А.Л., Плиско Т.В., Бильдюкевич А.В.**

*Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, ул. Сурганова, 13, 220072, Республика Беларусь  
E-mail: katyaburt@gmail.com*

Предложен новый метод модификации ультрафильтрационных мембран на основе сополимера акрилонитрила (АН) и метилметакрилата (МА) (соотношение АН:МА - 94:6) (ПАН), заключающийся в сочетании методов объемной и поверхностной модификации. Объемная модификация заключалась во введении полиакриловой кислоты (ПАК) ( $M_n=450\ 000\ \text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$ ) в формовочный раствор в N-метил-2-пирролидоне. Ультрафильтрационные мембраны на основе ПАН получали методом инверсии фаз способом мокрого формования, при этом в качестве осадительной ванны (ОВ) применяли воду и водные растворы полиэтиленimina (ПЭИ) с молекулярной массой  $25000\ \text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$ . Установлено, что использование водных растворов ПЭИ в качестве ОВ привело к повышению степени гидрофильности поверхности селективного слоя, о чем свидетельствовало снижение контактных углов смачивания мембран по воде с  $36$  до  $20^\circ$ . Исследование морфологии мембран с помощью сканирующей электронной микроскопии показало, что с увеличением концентрации ПЭИ в ОВ происходит уплотнение селективного слоя мембран, при этом толщина слоя значительно не изменяется (рисунок). Однако, выявлено, что добавление ПЭИ в ОВ в отсутствие в формовочном растворе ПАК привело к одновременному росту проницаемости по воде с  $138$  до  $294\ \text{л}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ч}^{-1}$  и коэффициента задерживания поливинилпирролидона ( $M_n=40\ 000\ \text{г}\cdot\text{моль}^{-1}$ ) с  $67$  до  $82\%$  мембран, полученных осаждением в воду и водный раствор  $0,5\%$  ПЭИ, соответственно. Введение же ПАК в формовочный раствор приводит к снижению удельной производительности мембран, полученных с использованием воды в качестве ОВ.



**Рисунок.** СЭМ микрофотографии поперечных сколов мембран: а – ПАН, ОВ- вода, б – ПАН, ОВ –  $0,5\%$  ПЭИ, в – ПАН- $0,1\%$  ПАК, ОВ – вода, г – ПАН- $0,1\%$  ПАК, ОВ –  $0,5\%$  ПЭИ

### Благодарность

Исследования были выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х23КИ-024).

УДК 66.081.6–278

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕМБРАН ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Василевская А.Э., Мошков А.И., Кецко А.И., Пономарева А. А.**

*Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, пр-кт Кронверкский, д. 49  
E-mail: 336429@niuitmo.ru*

Использование топливных элементов в энергетике является многообещающим подходом для преодоления вызовов, связанных с изменением климата. Наиболее распространенными стали топливные элементы, неотъемлемым компонентом которых является протонообменная мембрана. Nafion является широко применяемым материалом для подобных мембран. [1]. Высокая стоимость Nafion и полимеров с аналогичными свойствами является основной проблемой, мешающей масштабированию производства топливных элементов. В настоящее время все большую популярность набирают исследования, направленные на поиск альтернативных материалов для создания мембран с улучшенными физико-химическими свойствами, при этом имеющих более низкую стоимость производства. Наиболее перспективными считаются исследования в области биополимеров. Особый интерес вызывает ацетат целлюлозы в контексте исследований материалов для создания мембран. Мембраны, изготовленные на основе ацетата целлюлозы, обладают лучшими транспортными характеристиками, впечатляющими пленкообразующими свойствами и высокой гидрофильностью [2]. Один из важных аспектов - способ изготовления мембраны. Метод электроформования используется для создания материалов из волокон с контролируемыми свойствами. Этот метод демонстрирует ряд преимуществ при изготовлении мембран из биополимеров, включая высокие механические свойства, возможность контроля толщины волокон, эффективное использование материала [3]. Электроформование может быть применено для изготовления мембран топливных элементов.

Исследование морфологии мембраны, полученной с использованием установки NANON-01A, при электроформовании разных растворов ацетата целлюлозы позволило определить оптимальные параметры процесса электроформования и характеристики растворов, используемых для создания мембран. Результаты исследования могут способствовать сокращению издержек при изготовлении мембран и повышению их качества.

### Ссылки

- [1] Zhu L. Y. et al. Recent developments in high-performance Nafion membranes for hydrogen fuel cells applications //Petroleum Science. – 2022. – Т. 19. – №. 3. – С. 1371-1381.
- [2] Muhmed S. A. et al. Emerging chitosan and cellulose green materials for ion exchange membrane fuel cell: a review //Energy, Ecology and Environment. – 2020. – Т. 5. – С. 85-107.
- [3] Матвеев А. Т., Афанасов И. М. Получение нановолокон методом электроформования //Москва. – 2010.

УДК 678.6:547-311

## ЭПОКСИДНО-ТИТАНОКСИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ АМИННОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

**Верескун А.Д., Михальчук В.М., Лыга Р.И., Николаева О.Ф., Мальцева Н.А.**

*ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
г. Донецк, ул. Университетская, 24  
E-mail: nastyave22@gmail.com*

Нанокompозитные технологии вызвали значительный исследовательский интерес во всех дисциплинах, включая инженерию, физику, химию и медицину. При этом они находят применение в различных областях, таких как электроника, производство материалов и энергетика. Эпоксидные нанокompозиты на основе  $TiO_2$  особенно важны и демонстрируют многообещающие возможности применения во многих сферах производства, в частности, для производства функциональных покрытий.

Цель данной работы заключалась в получении золь-гель методом эпоксидно-аминных композитов на основе тетрабутоксид титана, а также изучении влияния оксидного наполнителя на устойчивость композитов к термоокислительной деградации и другие их свойства.

Ненаполненный полимер и композиты аминного отверждения синтезировали на основе низковязкой эпоксидной смолы – диглицидилового эфира дициклогексилпропана ST-3000 и аминного отвердителя – алифатического полиамина Jeffamine T-403. В качестве наполнителя эпоксидно-аминной полимерной матрицы использовали диоксид титана, который формировали гидролитической поликонденсацией тетрабутоксититана. Концентрация титаноксидного наполнителя в образцах составляла 0,5 до 10 масс.%.

Введение наполнителя  $TiO_2$  в состав композитов существенно влияет на термомеханические параметры образцов: температура стеклования и температура завершения перехода образцов в высокоэластическое состояние повышаются на 49 и 83 °С соответственно. С увеличением степени наполнения композитов заметно уменьшается предельная относительная деформация пленочных образцов в высокоэластическом состоянии. Максимальное армирующее влияние наполнитель оказывает при концентрации 5 масс.%.

Влияние титаноксидного нанонаполнителя на свойства полимерной матрицы отражается также на устойчивости композитов к высокотемпературному окислению кислородом и термоокислительной деструкции в присутствии воздуха. Кинетические кривые поглощения кислорода композитами имеют автокаталитический характер. С увеличением концентрации диоксида титана снижается скорость окисления при 180 °С. При этом наилучшим образом проявил себя образец, содержащий 5 масс.% наполнителя. При всем этом  $TiO_2$ , сформированный золь-гель методом, повышает устойчивость эпоксидных композитов к неизотермической термоокислительной деградации. Введение возрастающего количества титаноксидного наполнителя в наибольшей степени влияет на основную стадию термической окислительной деструкции, которая протекает с высокой скоростью.

УДК 691.175.743, 678.5-405.8

## **РУЛОННЫЕ ИНТУМЕСЦЕНТНЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И ПВХ**

**Галигузов А.А.<sup>1,2</sup>, Яшин Н.В.<sup>1</sup>, Авдеев В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.11

<sup>2</sup> АО УНИХИМТЕК, Подольск, МО, мкр. Климовск, ул. Заводская, д.2

E-mail: [agaliguzov@yandex.ru](mailto:agaliguzov@yandex.ru)

В последние несколько лет различные полимеры, наполненные интумесцентными материалами, используются как компоненты пассивной огнезащиты в составе рулонных огнезащитных материалов (ОЗМ) [1]. Важными характеристиками таких материалов являются физико-механические свойства, степень и температурный профиль вспенивания, воспламеняемость. Эти характеристики значительно зависят от свойств полимерной матрицы в составе ОЗМ. В данной работе исследована взаимосвязь между составом полимера и свойствами ОЗМ на его основе.

В работе были исследованы интумесцентные ОЗМ на основе нескольких типов полимеров: полиолефинов и ПВХ-пластиката различного состава. В качестве интумесцентного агента был использован бисульфатный окисленный графит.

По результатам проведённых исследований физико-механических, термических свойств рулонных ОЗМ, их огнезащитной эффективности было установлено, что при введении наполнителей в полимерную матрицу прочность при растяжении снижается на 20–62%, твердость возрастает в пределах до 32%. Вязкость полимерной матрицы в основе ОЗМ определяет ряд показателей: термостойкость, огнезащитную эффективность. Добавление в полимерные композиции окисленного графита значительно снижает их термостойкость, что связано с термической деструкцией окисленного графита, сопровождающейся существенной потерей массы. Изменение термостойкости ОЗМ линейно зависит от вязкости полимера в их основе. Процесс вспенивания ОЗМ также определяется вязкостью полимерного материала: в широком диапазоне показателя текучести расплава (ПТР) наблюдается, как правило, прямая зависимость степени вспенивания ОЗМ от значения ПТР [2].

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках проектов: № 123030200019-5 (№ дог. 202/23 от 01.02.23) и № АААА-А21-121011590086-0.

### **Ссылки**

[1] Zyбина О., Gravit М. Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. – Springer. – 2020. – 224 p.

[2] Галигузов А.А., Сердан (мл.) А.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В. Влияние состава ПВХ-пластиката на эксплуатационные свойства и огнезащитную эффективность полимерных материалов на его основе // Пожаровзрывобезопасность. – 2023. №32(5). – С. 26-39.



УДК 667.621.264

## ПОЛУЧЕНИЕ УФ-ОТВЕРЖДАЕМОЙ АЛКИДНО-СИЛОКСАНОВОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

**Голубев А.А., Солдатов М.А.**

ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», г. Москва, Миусская пл., д.9  
E-mail: temagol20@gmail.com

На сегодняшний день композиции на водной основе привлекают большое внимание у промышленных предприятий и научных организаций ввиду экологичности, низкой стоимости относительно материалов на основе органических растворителей и растущему потребительскому спросу на экологически чистые лакокрасочные материалы. Водоземulsionные алкидные системы способны отверждаться за счет протекания окислительной полимеризации. Однако, процесс отверждения требует более длительного времени из-за абсорбции или осаждения сиккативов. В настоящей работе мы представляем получение УФ-отверждаемой алкидно-силоксановой композиции на водной основе. Процесс отверждения такой системы протекает по механизму тиол-еновой реакции между -SH группами олигоорганосилоксана и двойными связями -C=C- алкидного олигомера, что позволяет сократить время отверждения до 10 минут.

В данной работе для получения водных эмульсий использовался алкидный олигомер на основе жирных кислот таллового масла и олигомер на основе 3-меркаптопропилтриметоксисилана в соотношении 1 к 1 по массе. В качестве поверхностно-активных веществ использовались ОП-7 (оксиэтилированный алкилфенол) и лаурилсульфат натрия, для стабильности коллоидной системы процесс эмульгирования проводили с использованием 1%-го раствора поливинилового спирта.

Полученную эмульсию исследовали с помощью многоугольного спектрометра динамического рассеяния света, средний размер частиц составил  $135 \pm 40$  нм. На рисунке 1 представлена общая схема эмульгирования и распределение по размерам частиц.

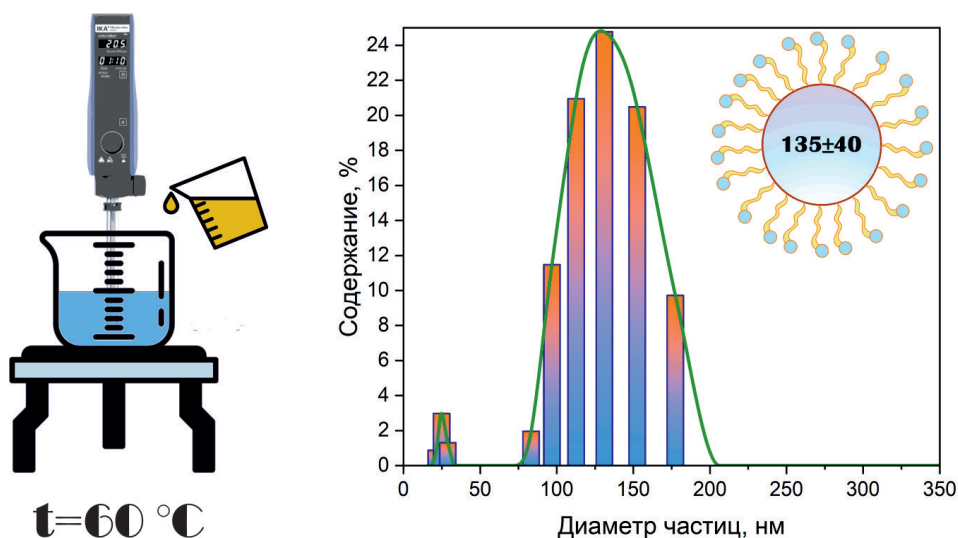


Рисунок 1. Схема эмульгирования и распределение по размерам частиц

УДК 544.022.4+541.64

## СТРУКТУРНО МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ СУЛЬФОКИСЛОТНЫХ МЕМБРАН NAFION ТИПА

**Губанова Г.Н., Примаченко О.Н., Вылегжанина М.Э., Лаврентьев В.К.,  
Мариненко Е.А., Кононова С.В.**

*Институт высокомолекулярных соединений,  
Санкт Петербург. Большой пр. 31*

Комплексом методов исследовано влияние типа сшивающего агента поливинилового спирта глутарового альдегида и эпихлоргидрина на структуру, морфологию, термостабильность композиционных мембран на основе отечественных перфторированных сульфокислотных сополимеров - аналогов Nafion типа [1] и поливинилового спирта, перспективных для протон-проводящих мембран.

Методами ТГА и ДТГ проведен анализ термической стабильности образцов мембран, сшитых глутаровым альдегидом и эпихлоргидрином. Выявлены основные этапы термической деструкции исследуемых композиционных мембран. Показано, что увеличение количества сшитого поливинилового спирта в композиционной мембране приводит к повышению термостабильности исследуемых мембран в случае использования глутарового альдегида в качестве сшивающего агента ПВС. Для мембран, где в качестве сшивающего агента ПВС использовался эпихлоргидрин, такого эффекта не наблюдалось. С увеличением количества ПВС в композите первого типа (до 2.5 мас% ПВС проявляется доменная морфология поверхности. Размер доменов составляет ~ 200-300 нм. Пленка становится шероховатой, значения шероховатости  $R_a=13.0$  нм и  $R_q=16.2$  нм. На поверхности пленки с 5 мас% ПВС наблюдается структурирование, домены образуют короткие агрегаты, высота которых над усредненной поверхностью составляет 80 нм, поверхность становится более рыхлой, значения шероховатости по сравнению с образцом 2.5 мас% ПВС увеличиваются в два раза и составляют  $R_a=20.2$  нм и  $R_q=24.9$  нм. Таким образом, наблюдается устойчивый и явный рост шероховатости поверхности образцов композиционных мембран с увеличением содержания сшитого ПВС. При этом регистрируется падение степени кристалличности по мере увеличения содержания ПВС в мембране. Для композиционных мембран с ПВС, сшитых эпихлоргидрином, характерна немонокотная зависимость шероховатости поверхности при увеличении содержания ПВС. Наблюдается экстремальное значение параметров шероховатости для мембран, содержащих 2.5 мас% ПВС. Протонная проводимость композиционных мембран незначительно превышает уровень исходной мембраны.

### Ссылки

[1] Иванчев С.С., Лихоманов В.С., Примаченко О.Н., Хайкин С.Я., Барабанов В.Г., Корнилов В.В., Одинокоев А.С., Кульвелис Ю.В., Лебедев В.Т., Трунов В.А. // Мембраны и мембранные технологии..-2012. -Т. 2. № -1. -С. 3

УДК 541.6

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА РЕДИСПЕРГИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ВИНИЛАЦЕТАТА С 2-ЭТИЛГЕКСИЛАКРИЛАТОМ

Дерновая Е.С., Филатов С.Н.

*РХТУ имени Д.И. Менделеева, г. Москва, 125047, Миусская пл., 9  
E-mail: dernovaya\_es@mail.ru*

К одним из наиболее универсальных модификаторов свойств строительных смесей, способных улучшить характеристики минерального вяжущего (прочность на растяжение при изгибе, адгезию, щелочестойкость и т.д.) относятся редиспергируемые полимерные порошки (РПП) на основе сополимеров винилацетата. В основе процесса производства РПП лежит получение дисперсии сополимера эмульсионным способом с последующей сушкой полученной дисперсии. Благодаря немногочисленным ограничениям эмульсионного метода и возможному изменению параметров системы представляется возможным получение РПП с широким диапазоном свойств.

Важными характеристиками дисперсий сополимеров для их применения в составе строительных растворов являются минимальная температура пленкообразования и размер частиц дисперсии, показатели которых необходимо снижать. Существует эмпирическая взаимосвязь между минимальной температурой пленкообразования и температурой стеклования, значения которых зависят от структуры полимерной цепи. Использование РПП со сниженной температурой стеклования позволяют существенным образом расширить эксплуатационные характеристики строительных смесей и цикл проведения строительных работ в переходные зимние периоды.

Ранее для смоделированных молекулярных структур гомополимеров и сополимеров винилацетата с 2-этилгексилакрилатом с использованием программного модуля BIOVIA Materials Studio нами были рассчитаны значения температур стеклования, и установлено, что введение структурного звена 2-этилгексилакрилата в полимерную цепь позволяет значительно снизить температуру стеклования сополимера, при этом более низкие ее значения характерны для сополимеров чередующегося строения.

В работе синтез сополимеров винилацетата осуществляли эмульсионной сополимеризацией винилацетата с 2-этилгексилакрилатом в присутствии персульфата аммония и поливинилового спирта. Размеры частиц дисперсий и распределение частиц по размерам определены методом лазерной гранулометрии. Состав сополимеров и их температура стеклования охарактеризованы с использованием методов ИК-спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Показано влияние режима проведения процесса (периодический и полупериодический) и соотношения мономеров на свойства образующихся продуктов. Определено, что проведение сополимеризации для данной пары мономеров в полупериодическом режиме позволяет получать дисперсии сополимеров с более низкими значениями температуры стеклования и размерами частиц латекса.

УДК 541.64:539.3

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ И СТРУКТУРЫ АМОРФНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

**Долгова А.А., Ярышева А.Ю., Звонова А.А., Заикин А.С., Аржакова О.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991 Москва, Ленинские горы, д.1, стр.3  
E-mail: dolgova2003@mail.ru*

Изучено влияние модификации пленок аморфного стеклообразного полиэтилентерефталата (ПЭТФ) путем предварительной ориентации на деформационное поведение и структуру при последующем растяжении на воздухе и в физически активных жидких средах (ФАЖС) с использованием методов динамометрии, дифференциальной сканирующей калориметрии, сканирующей электронной микроскопии, оптической микроскопии. Предварительную ориентацию промышленных пленок ПЭТФ проводили при комнатной температуре путем продольной прокатки на системе лабораторных протяжных валков, вращающихся в противоположных направлениях с одинаковой скоростью. Установлено, что особенностью предварительно ориентированных при комнатной температуре образцов ПЭТФ является изменение во времени после прокатки их структурного и механического отклика на приложенное механическое напряжение при растяжении на воздухе и в присутствии ФАЖС. Повторное деформирование на воздухе в зависимости от времени после предварительной ориентации ПЭТФ протекает или однородно с развитием множественных полос сдвига, или с образованием традиционной шейки с наличием ярко выраженной зоны перехода полимера в ориентированное состояние. В присутствии ФАЖС повторное деформирование предварительно ориентированных пленок ПЭТФ осуществляется по механизму классического крейзинга, однако линейная плотность крейзов и общий вид образцов, деформированных в ФАЖС через различное время после прокатки, значительно отличается. Показано, что эффективность действия среды понижается по мере увеличения степени предварительной ориентации. Установлены закономерности изменения механических характеристик предварительно ориентированного ПЭТФ при повторном деформировании как на воздухе, так и в присутствии ФАЖС: увеличение напряжения в пределе текучести, повышение напряжения стационарного деформирования, снижение разрывного удлинения и увеличение разрывного напряжения при растяжении.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках проекта «Современные проблемы химии и физико-химии высокомолекулярных соединений» (госбюджет, номер ЦИТИС АААА-А21-121011990022-4)

УДК 541.64:539.3

## ФИЗИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИЛАКТИДА

**Ефимов А.В., Гроховская Т.Е., Трофимчук Е.С.**

*Московский Государственный Университет, Химический факультет*

*\*e-mail: efimov@genebee.msu.ru*

Известно, что образцы аморфного ПЛА, полученные закалкой из расплава пластичны. Они деформируются с образованием шейки и разрывные удлинения достигают 200 - 250 %. Вместе с тем, в результате физического старения при комнатной температуре уже через сутки образцы ПЛА становятся хрупкими. Разрывные удлинения падают до 10 -20 %. Шейка при деформации не образуется. На поверхности образца перед зоной разрыва видны множество крейзов.

В настоящей работе исследовано влияние предварительной прокатки на физическое старение пленок полилактида (ПЛА).

Пленки ПЛА, полученные быстрым охлаждением расплава, толщиной 500 мкм прокатывали на лабораторных вальцах при комнатной температуре между двумя валками, вращающимися с одинаковой скоростью. В результате прокатки увеличивалась длина и, соответственно, уменьшалась толщина образцов, а ширина не менялась. Степень прокатки  $\Lambda$  оценивали как отношение исходной толщины  $d_0$  к толщине прокатанной пленки  $d$ :  $\Lambda = 2$  и  $2.5$ ). Например, значения прочности  $\sim$  МПа и разрывного удлинения  $\sim$  90 -100 % для ПЛА прокатанного в 2.5 раза практически не изменяются в процессе старения при комнатной температуре. Методом малоуглового рентгеновского рассеяния было показано, что деформация таких образцов не сопровождается образованием крейзов.

Таким образом, предварительная ориентация существенно увеличивает прочность, а также одновременно увеличивает пластичность стеклообразного полимера.

В работе предложен механизм наблюдаемого явления. Выявлены факторы, способствующие повышению пластичности ПЛА после прокатки.

УДК 544.03; 544.236

## ПОДХОДЫ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕЖИМА ОТВЕРЖДЕНИЯ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ

**Жаворонок Е.С.<sup>1</sup>, Сенчихин И.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва, пр-т Вернадского, 86*

<sup>2</sup>*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина  
Российской академии наук, Москва, Ленинский пр-т, 31, корп. 4  
E-mail: zhavoronok@mirea.ru*

Полное отверждение термореактивных полимерных систем является необходимым условием получения изделий со стабильными свойствами и долговременной эксплуатацией. Ранее [1, 2] авторы настоящей работы предложили использовать так называемые Time – Temperature – Transformation (ТТТ)-диаграммы, дополненные изоконверсионными кривыми, для расчета оптимального режима отверждения эпоксиаминных систем, стеклующихся при изотермическом естественном отверждении. Рассчитанные по ТТТ-диаграммам оптимальные режимы двухстадийного отверждения, с одной стороны, обеспечивают полное отверждение эпоксиаминных систем, а с другой – экономичны и позволяют избежать избыточного использования ресурсов нагревающего оборудования.

Одним из результатов работы [1] явилось то, что для прогнозирования оптимального режима отверждения достаточно кривой стеклования ТТТ-диаграммы в сочетании с изоконверсионными кривыми. Экспериментальные данные для их построения можно получить, например, доступным методом дифференциальной сканирующей калориметрии в динамическом режиме с предварительным прогревом образцов во внешнем термостате [3]. В настоящей работе изложены попытки прогнозирования кривой стеклования ТТТ-диаграммы на основании информации о температурах стеклования исходных и полностью отвержденных термореактивных смесей, косвенно характеризующих гибкость макромолекул. Прогноз основан на расчете времен отверждения по уравнениям Эннса и Гиллхама [4], причем параметры для этого расчета определены из корреляций констант уравнений ди Бенедетто и Аррениуса с температурой стеклования неотвержденной смеси. Соответствующие корреляции получены авторами настоящей работы в результате обобщения значительного числа опубликованных литературных данных. Для модельной эпоксиаминной системы в рамках предложенного подхода определены температуры и времена оптимального режима отверждения, которые удовлетворительно совпали с рассчитанными по экспериментальной ТТТ-диаграмме, полученной для той же системы.

### Ссылки

- [1]. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н., Пчелинцев И.Е., Ролдугин В.И. Определение оптимального режима отверждения эпоксиаминных систем по ТТТ-диаграммам// Высокомолек. соед., сер.Б. – 2018. – Т.60, №2. – С.140-146.
- [2]. Zhavoronok E.S., Senchikhin I.N. A new approach to estimate the curing mode of thermosetting polymer films with regard to physical aging and slow chemical processes// J. of App. Polym. Sci. – 2020. – V.137, №44. – 7p. DOI: 10.1002/app.49373
- [3]. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н., Колесникова Е.Ф., Чалых А.Е., Киселев М.Р., Ролдугин В.И. Особенности отверждения смесей дианового и алифатического эпоксидных олигомеров с различной реакционной способностью// Высокомолек. соед., сер.Б. – 2010. – Т.52, №4. – С.706-714.
- [4]. Enns J.B., Gillham J.K. Time-Temperature-Transformation (TTT) cure diagram: modeling the cure behavior of thermosets// J. Appl. Polym Sci. – 1983. – V.28. – P.2567-2591.



УДК 691.175.2

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И НАНОЧАСТИЦ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ

**Жуков А.М.<sup>1,2</sup>, Юрков Г.Ю.<sup>1</sup>, Гороховский А.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,  
г. Москва, 119991, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup> Центр НТИ "Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества"  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 105005, Лефортовская набережная, 1

<sup>3</sup> Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
г. Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
E-mail: zhukov765311@yandex.ru

Производство полимерных композиционных материалов (ПКМ) с заданным комплексом свойств, отличающихся от свойств исходных компонентов, является ключевой задачей в современной промышленности. Для производства ПКМ, в настоящее время, наиболее популярными матрицами остаются полиолефиновые матрицы, а именно полиэтилен высокого давления. Введение наполнителей позволяет достигнуть широкого спектра свойств, нехарактерных для ненаполненного полимера. Добавление наночастиц металлов изменяет свойства исходной матрицы, среди которых: оптические, механические, электрические, антибактериальные и др.[1,2] Получают такие материалы методом смешения в области температур плавления полимера.

В настоящей работе были получены полимерные композиционные материалы с добавлением наночастиц полититаната калия. Исследованы их механические, электрические и реологические свойства. Установлено, что добавление наночастиц улучшает механические свойства материалов, увеличивает их диэлектрическую проницаемость и снижает вязкость. Полученные результаты свидетельствуют о потенциале использования таких композиционных материалов в промышленности.

### Благодарность

Данная работа проводилась в рамках программы государственной поддержки центра Национальной технологической инициативы (НТИ) на базе образовательных учреждений высшего образования и научных организаций (Центр НТИ "Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества" МГТУ им. Н.Э. Баумана).

### Ссылки

- [1] Zhukov A.M. The Effect of the Structure of Iron-Containing Nanoparticles on the Functional Properties of Composite Materials Based on High-density Polyethylene // Zhukov A.M., *et al.* Russ. J. Phys. Chem. B. – 2022. Vol. 16, № 5. – P. 926–932.  
[2] Solano R. Metal- and metal/oxide-based engineered nanoparticles and nanostructures: a review on the applications, nanotoxicological effects, and risk control strategies // Solano R., *et al.* Environ. Sci. Pollut. Res. – 2021. Vol. 28, № 14. – P. 16962–16981.

УДК 691.175.743, 678.5-405.8

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ОКИСЛЕННОГО ГРАФИТА НА ОГНЕЗАЩИТНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ПВХ-СМОЛ

**Зайцева В.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 11  
E-mail: zaytseva.v.a@ograh.ru*

В интумесцентных составах окисленный графит (ОГ) используется в качестве антипирена, который в условиях высокотемпературного воздействия значительно увеличивается в объеме и участвует в создании пенококсового слоя с низкой теплопроводностью [1].

Для получения новых огнезащитных материалов, и улучшения свойств имеющихся композиций, необходимо более детальное изучение влияния свойств различных видов окисленных графитов на огнезащитную эффективность (ОЭ) интумесцентных покрытий.

В качестве объекта исследования был выбран базовый огнезащитный состав на основе раствора ПВХ, в которую вводился ОГ, полученный обработкой различными методами: окислением графита серной и азотной кислотами; в ряде случаев использовалась дополнительная обработка фосфорной кислотой.

Огнезащитную эффективность полученных покрытий определяли в условиях стандартного горения на фрагментах колонн двутаврового сечения 20Б1. Результаты испытаний приведены в таблице 1

Таблица 1 – Результаты проведения огневых испытаний покрытий, полученных с использованием различных модификаций ОГ.

№ образца	Окисленный графит	Плотность покрытия, г/см <sup>3</sup>	Степень расширения, %	ОЭ, мин
Обр.1	ОГ бисульфатный	0,91	3550	30
Обр.2	ОГ бисульфатный +H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,93	3300	36
Обр.3	ОГ нитратный	0,90	1560	22
Обр.4	ОГ нитратный + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,93	1650	26

Показано, что образцы на основе бисульфатных графитов, продемонстрировали более высокую ОЭ. Дополнительная обработка фосфорной кислотой бисульфатных и нитратных графитов увеличивает ОЭ исследуемых покрытий на ~20%.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках проектов: №123030200029-4(№дог.201/23 от 19.12.22) и №АААА-А21-121011590086-0.

### Ссылки

Zybina O., Gravit M. Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. – Springer. – 2020. – 224 p

УДК 678

## РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА

**Зарганаев А.З.<sup>1,2</sup>, Биличенко Ю.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Лаборатория инновационных технологий», г. Королев, мкрн. Юбилейный, ул. Пионерская 1/4

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Миусская пл., д. 9, стр. 1

E-mail: zarganaev1994@gmail.com

В современном мире постоянно ведется поиск новых эластомеров и вулканизационных соединений с более широким спектром полезных свойств, учитывая более требовательный потребительский рынок и необходимость совершенствования процессов производства каучуков и резины. Мировой спрос на эластомеры и бутадиеновый каучук, в частности, будет увеличиваться примерно на 2,4-3,0% в год [1].

Для синтезирования каучуков с необходимыми свойствами применяют более совершенные катализаторы. Редкоземельные катализаторы постепенно вытесняют традиционные катализаторы Циглера-Натта на основе титана, никеля и кобальта. Наиболее востребованными редкоземельными металлами для катализаторов синтетического каучука являются неодим, празеодим, гадолиний и церий, так как обладают высокой каталитической активностью.

Одним из самых востребованных редкоземельных катализаторов является неodeканоат неодима. Крупнейшие каучуковые заводы России (ПАО «Нижнекамскнефтехим» и АО «Воронежсинтезкаучук») используют в производстве синтетического каучука именно неodeканоат неодима.

Сотрудниками ООО «ЛИТ» разработан и внедрен в производство способ получения неodeканоата неодима [2]. Поскольку российские заводы фактически полностью привязаны к поставкам катализаторов из-за рубежа, наличие собственного производства катализаторов полимеризации синтетического каучука позволит избежать зависимости от импортных аналогов, что особенно актуально при текущем мировом экономическом и политическом положении.

Неodeканоата неодима производства ООО «ЛИТ» успешно поставляется на ведущие российские каучуковые заводы.

### Ссылки.

[1] Gaioto C. C., Schmal M., da Silva Pinto J. C. Neodymium versatate catalyst for the 1,3-butadiene polymerization – Effects of reaction parameters // Catalysis Today. – 2020. – Т. 344. – С. 84-91.

[2] Патент № 2785807 С1 Российская Федерация, МПК С07С 51/41, С08F 4/52, С01F 17/17, С01F 17/20. Способ получения неodeканоата неодима : 2022106877 : заявл. 16.03.2022 : опубл. 13.12.2022 / Ж.Н. Галиева, А.М. Абрамов, Ю.Б. Соболев, А.В. Солодовников, А.В. Галанцев, А.З. Зарганаев.

УДК 544.777

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНЫХ СУСПЕНЗИЙ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЗАРЯДОМ ЧАСТИЦ

**Ивашкевич Д.С.<sup>1</sup>, Стужук. А.Н.<sup>1</sup>, Грицкова И.А.<sup>1</sup>, Бондарев А.Н.<sup>2</sup>**

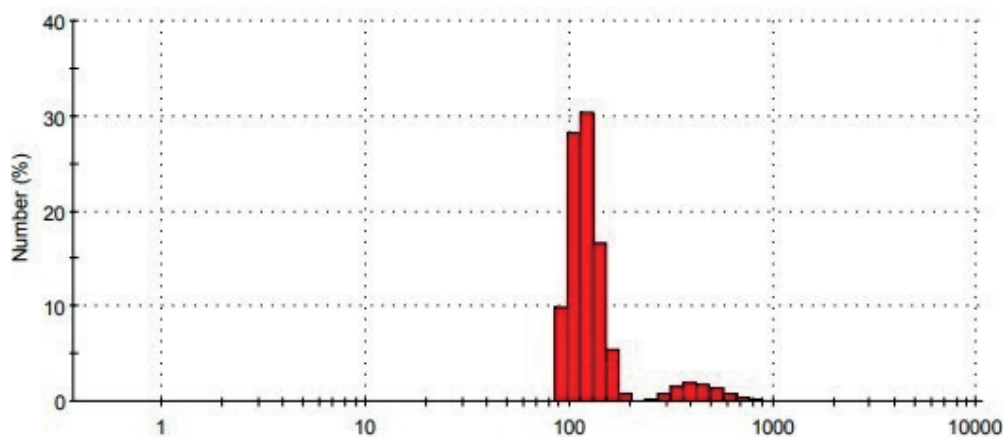
<sup>1</sup> МИРЭА – РТУ, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78

<sup>2</sup> ОАО «Котласский химический завод», г. Москва, Перовский проезд, д. 2, стр. 4.

E-mail: dmitro.ivash@gmail.com

В настоящее время широкое применение находят искусственные полиметилметакрилатные суспензии с положительным зарядом частиц. При их получении большое значение уделяется дисперсности и устойчивости полимерной суспензии. Свойства искусственных полимерных суспензий существенно зависят от условий эмульгирования раствора полимера водным раствором ПАВ.

В данной работе представлены данные по получению искусственных ПММА суспензий с положительным зарядом частиц и изучению их свойств в зависимости от скорости и времени диспергирования. В работе использовали ПММА марки Асгурет VH001, в качестве растворителя был выбран хлороформ, в качестве ПАВ – четвертичное аммониевое соединение треталкиламина кислот кокосового масла и бензохлорида (Азол-129). Скорость диспергирования варьировалась от 3 до 18 тыс. об/мин. Полученные данные показали, что наиболее устойчивой является суспензия, полученная при скорости диспергирования в 15 тыс. об/мин. Исследование влияния времени диспергирования на распределение частиц по размерам проводили во временном диапазоне от 3 до 10 минут. Было установлено, что наиболее узкое распределение частиц по размерам наблюдается при диспергировании в течение 10 минут. Средний диаметр частиц составил 120,5 нм. Данные представлены на рис.1.



**Рисунок 1.** Гистограмма распределения частиц по размерам полимерной полиметилметакрилатной суспензии при диспергировании в течение 10 минут.

Полученные результаты позволяют рекомендовать оптимальные условия получения искусственных полиметилметакрилатных суспензий с положительным зарядом частиц и порошков на их основе.

УДК 678.746.523;544.478-03.

## РОЛЬ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИЦИОННОГО КАТАЛИЗАТОРА

**Исаева И.Ю.<sup>1</sup>, Остаева Г.Ю.<sup>1</sup>, Моренко И.В.<sup>1</sup>, Грушина В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Ленинградский проспект 64

<sup>2</sup>ООО «Химия XXI век», Москва, проезд Энтузиастов, д. 19, строение 13  
E-mail: irina-razumova-xim@yandex.ru

Очевидными преимуществами использования поливинилпирролидона (ПВП) в получении наноразмерных металлических структур являются его способность к ограничению роста частицы путем полисопряжения цепи полимера с поверхностью частицы, а также защита частиц от агрегации и окисления. Существенным недостатком для дальнейшего применения и использования полученных композиционных материалов является экранирование полимером поверхности синтезированных частиц, что приводит к снижению их активности в реакциях катализа. В случае получения композиционного материала с применением нано-пористого носителя полимер, содержащийся в системе, снижает массовую долю осаждаемых металлических частиц в порах в сравнении с ожидаемым, вследствие блокировки полимером открытых пор.

В данном исследовании изучено влияние ПВП (Mn 360000) на стабилизацию размеров и рост наночастиц меди и никеля при внедрении полученного золя в поры носителя (цеолита). Разложение полимерной матрицы методом термической деструкции позволило получить композиционный катализатор, применимый в реакции синтеза пиридина.

Нагрев осуществляли в муфельном шкафу со скоростью 5°С/мин до 450 °С с последующей выдержкой в течение 4 часов. Показано, что двух этапов отжига в режиме достаточно, чтобы удалить ПВП с поверхности полученного Cu-Ni катализатора.

Насыщение носителя золем ПВП-Cu, ПВП-Ni проводили постадийно. Для оценки эффективности насыщения носителя наночастицами и удаления ПВП с поверхности частиц Cu-Ni использовался косвенный метод, состоящий в сравнении прироста массовой доли Cu и Ni с помощью РФА. Показано, что при циклическом нанесении золя и отжиге прирост частиц на носителе в 10,6 раза превышает прирост в образцах без отжига. Исследование методом ПЭМ показало малое количество агрегированных частиц и их равномерное распределение – результат эффективной работы полимерного стабилизатора.

УДК 535.34

## О СОВМЕСТИМОСТИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЯ И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Камалова Д.И.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Казань, 420008, Казань, Кремлевская, 18  
E-mail: Dina.Kamalova@kpfu.ru*

На мембранные свойства полимерных смесей влияет совместимость компонентов смеси. Смеси полимеров могут иметь полную совместимость или разделение фаз, а также различные уровни смешивания компонентов смеси (например, частичную совместимость).

Традиционно для предварительной оценки смешиваемости в различных системах полимер-полимер используется критерий по параметрам растворимости Гильдебранда. Согласно этому критерию, совместимость будет наблюдаться в том случае, если разность параметров растворимости мала. Кроме того, распространенным критерием совместимости полимеров является наличие одной температуры стеклования, промежуточной между температурами стеклования двух полимерных компонентов.

В данной работе предложен подход для определения совместимости, основанный на связи совместимости компонентов с локальной молекулярной динамикой, проявлением которой являются вторичные релаксационные переходы в бинарной полимерной системе. Предложенный подход применен к бинарной полимерной смеси, состоящей из поливинилбутираля и поливинилиденфторида. Исследовали смеси составов: 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0. Температуры вторичных релаксационных переходов в исследуемых системах определяли с помощью ИК-фурье-спектроскопии как температуры замораживания локальной молекулярной подвижности.

Поливинилиденфторид является важным мембранным материалом и применяется в литий-ионных батареях, для очистки сточных вод, дистилляции, газоразделения и т.д. Но он имеет низкую гидрофобность, что ограничивает его применение. Добавление поливинилбутираля увеличивает гидрофильность мембран. Использование поливинилиденфторида в смеси с поливинилбутиралем обеспечивает оптимальные характеристики с хорошим сочетанием проницаемости, селективности, термической и механической стабильности.

Проведенные нами исследования показали, что при содержании поливинилбутираля до 40 масс.% бинарные смешанные системы являются полностью совместимыми, а при содержании более 40 масс.% эти системы являются частично совместимыми. Полученные результаты согласуются с литературными данными по совместимости, определенными методами сдвиговой и характеристической вязкости.



УДК 544.7

## ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОМАЛЬТА В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИ(N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА)

**Карпушкин Е.А.<sup>1</sup>, Анурова С.О.<sup>2</sup>, Ремизова Е.А.<sup>2</sup>, Заборова О.В.<sup>1</sup>, Сергеев В.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
химический факультет, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 3*

<sup>2</sup> *Университетская гимназия (школа-интернат) Московского государственного университета имени  
М.В. Ломоносова, Москва, Ломоносовский проспект, 27, корп. 7  
E-mail: eukarr@gmail.com*

Гидротермальная обработка (нагревание выше 100°C при повышенном давлении) углеводов в зависимости от условий проведения процесса может давать ценные низкомолекулярные продукты, углеродные наночастицы (в том числе ультрамалые углеродные наноточки), либо более грубодисперсные углеродные микрочастицы.

Изомальт (О-α-D-глюкопиранозил-D-маннит) – димер углевода и альдита. Скрининг продуктов гидротермальной обработки различных полимерных, олигомерных и низкомолекулярных углеводов, а также родственных соединений (альдиты) показал, что именно в случае изомальта с наибольшим выходом образуются углеродные наночастицы, благодаря оптимальному сочетанию в молекуле карбонизирующегося фрагмента глюкозы и устойчивого в гидротермальных условиях фрагмента маннита, стабилизирующего образующиеся наночастицы. Дальнейшие эксперименты показали, что для получения флуоресцентных наночастиц гидротермальную обработку следует проводить в нейтральной или кислой среде при температуре выше 160°C, однако именно в этих условиях наряду наночастицами образуется заметное количество грубодисперсного осадка.

Мы изучили возможности стабилизации образующихся в гидротермальных условиях углеродных наночастиц введением в реакцию смесь поли(N-винилпирролидона). Были использованы образцы полимера с молекулярной массой  $5 \cdot 10^4$  и  $1.3 \cdot 10^6$ . Оказалось, что в сравнительно мягких условиях синтеза (170°C, 2 ч) введение полимеров в реакцию смесь действительно дополнительно стабилизирует наночастицы и препятствует образованию грубодисперсной фракции продукта, причем более высокомолекулярный полимер действует примерно в 5 раз эффективнее. В более жестких условиях синтеза (190°C, 6 ч) введение полимеров в реакцию смесь увеличивает количество грубодисперсной фракции осадка, вероятно, из-за преобладания флокуляции над стабилизирующим действием.

### **Благодарность**

Работа финансово поддержана по государственному заданию научно-исследовательских работ (№ ЦИТИС: 121031300084-1).

УДК 544.022.554:544.723.212

## СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХСШИТЫХ СО- И ТЕРПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА: СИНТЕЗ, ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

**Кириллов А.С., Горшков Н.И., Красиков В.Д.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой пр. В. О. 31  
E-mail: a.kirillov2622@gmail.com*

В последние десятилетия сверхсшитые полимеры (ССП) нашли широкое применение в качестве сорбентов для хроматографии, твердофазной экстракции и очистки сточных вод. Для ССП характерна высокая площадь удельной внутренней поверхности ( $S_{уд}$ ), а также возможность регулирования пористой и химической структуры. Это позволяет создавать на их основе сорбенты с необходимыми свойствами для эффективного удерживания различных соединений. Таким образом, цель работы заключалась в синтезе ССП с различной пористой и химической структурой, а также изучении ее влияния на их сорбционные свойства.

В качестве исходных матриц методом радикальной суспензионной полимеризации были получены сополимеры стирола и дивинилбензола (1, 2 и 3 мол%), а также терполимеры стирола и дивинилбензола (2 мол%), содержащие полярные мономеры – 4-винилпиридин (5, 12 и 20 мол%) или глицидилметакрилат (8 и 15 мол%). Синтез сверхсшитых со- и терполимеров осуществляли в среде 1,2-дихлорэтана по реакции Фриделя-Крафтса с использованием монохлордиметилового эфира в качестве сшивающего агента и  $FeCl_3$  в качестве катализатора.

Химическая структура ССП была подтверждена методом ИК-спектроскопии. С помощью метода низкотемпературной адсорбции-десорбции азота было установлено, что полученные ССП имеют высокую  $S_{уд}$  и преимущественно микро/мезопористую структуру. Показано, что уменьшение содержания ДВБ в исходном сополимере приводит к значительному росту объема мезопор в структуре ССП. Для сверхсшитых терполимеров характерны более низкие значения  $S_{уд}$ , при этом наблюдалось уменьшение  $S_{уд}$  при увеличении содержания полярного мономера.

Было проведено сравнение сорбционных свойств синтезированных ССП по отношению к различным модельным низкомолекулярным соединениям (антибиотикам, красителям и ароматическим аминам). Сверхсшитый сополимер, содержащий 1 мол% дивинилбензола и имеющий больший объем мезопор, продемонстрировал наиболее эффективную адсорбцию крупных молекул рифампицина. Наибольшую сорбцию полярных соединений (цефуроксима, п-аминобензойной кислоты и эриохрома черного) продемонстрировал ССП, содержащий 5 мол% 4-винилипиридина. В то же время ССП, содержащий 8 мол% глицидилметакрилата, оказался наиболее эффективным при сорбции п-нитроанилина.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности направленного регулирования пористой и химической структуры ССП для эффективной сорбции низкомолекулярных соединений, имеющих различную полярность и размеры молекул.

УДК 677.499

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ВОЛОКОН

**Кириллов В.Е.<sup>1,2</sup>, Юрков Г.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,  
119334, Москва, ул. Косыгина, 4

<sup>2</sup>Центр НТИ "Цифровое материаловедение: новые материалы  
и вещества" МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5  
E-mail: kirillovladislav@gmail.com

Полипропиленовые волокна высоко ценятся за их уникальные характеристики, востребованные в различных сферах. С учетом увеличивающихся требований к качеству материалов, растет заинтересованность в разработке волокон с улучшенными свойствами. Модификаторы, содержащие наночастицы, представляют собой одно из наиболее обещающих направлений улучшения функциональности и качества волокон. Однако, стандартные методики объединения волокон с добавками теряют свою эффективность при работе с наноразмерными структурами. Возникающие при этом сложности, такие как агрегация наночастиц и их непрочное связывание с полимерными волокнами, могут быть решены с использованием дополнительного полимера, который выполняет роль стабилизатора. Такие композиции могут обладать новыми антимикробными свойствами, при этом не теряя прочности и химической устойчивости. Они отличаются улучшенными характеристиками, такими как прочность, гибкость, проводимость и антибактериальные свойства [1].

В рамках нашего исследования были разработаны и проанализированы композиции, состоящие из полипропиленовых волокон с покрытием на основе полиэтилена или политетрафторэтилена, модифицированные наночастицами металлов. Этот подход является более простым и экономически выгодным по сравнению с традиционными методами, что делает его особенно привлекательным для промышленного применения. Нанокompозиты служат защитным слоем, увеличивая прочность волокон и уменьшая их электрическое сопротивление, а также обеспечивая защиту от микробов. Такие волокна идеально подходят для создания упаковочных материалов, геотекстиля, медицинских изделий и других продуктов, способствуя предотвращению распространения микробов.

### Благодарность

Данная работа проводилась в рамках программы государственной поддержки центра Национальной технологической инициативы (НТИ) на базе образовательных учреждений высшего образования и научных организаций (Центр НТИ "Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества" МГТУ им. Н.Э. Баумана).

### Ссылки

[1] Yurkov G.Y. Polypropylene Filaments Modified with Manganese-Containing Nanoparticles / G.Y. Yurkov, N. P. Prorokova, A. V. Kozinkin, et.al. // Mech. Compos. Mater. – 2022. Vol. 58, № 5. – P. 705–718.

УДК 547.867

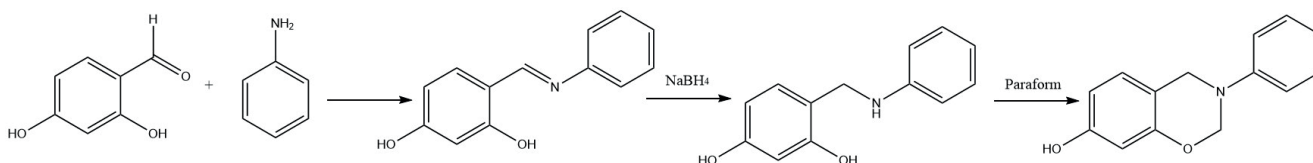
## СИНТЕЗ БЕНЗОКСАЗИНОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГИДРОКСИГРУППАМИ

**Кириянова Ю.Д., Тарасов И.В., Сиротин И.С.**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва, Миусская площадь, 9  
E-mail: yuliya.kiryanova.02@mail.ru*

Бензоксазины являются термореактивной смолой, которая нашла применение в качестве компонента связующего для получения полимерных композиционных материалов. За последние годы было проведено множество исследований по модификациям бензоксазинов, однако особый интерес представляет разработка бензоксазиновых мономеров с функциональными гидроксигруппами, благодаря которым появляется возможность модифицировать полученные соединения антипиренами, например, фосфорсодержащими. Синтез фосфазеновых бензоксазинов позволяет заменить хорошо изученные полимеры на более технологичные с улучшенной негорючестью и теплостойкостью.

В данной работе были синтезированы бензоксазиновые мономеры трехстадийным методом на основе салицилового альдегида и пара-аминофенола, 2,4-дигидроксибензальдегида (2,4-дГБ) и анилина (рис.1), 2,4-дГБ и 4,4'-диаминодифенилметана. На первой стадии при взаимодействии гидроксиальдегида и первичного амина получали основание Шиффа, которое впоследствии было восстановлено борогидридом натрия до вторичного амина, а далее проведена циклизация с параформом.



**Рисунок 1.** Схема синтеза бензоксазинового мономера на основе 2,4-дигидроксибензальдегида и анилина

Продукты были охарактеризованы с использованием <sup>1</sup>H ЯМР-спектроскопии, ИК-спектроскопии, дифференциально-сканирующей калориметрии. Проведен сравнительный анализ свойств полученных соединений.

### Ссылки

[1] Сиротин И.С., Петракова В.В., Киреев В.В. Полибензоксазиновые связующие для полимерных композиционных материалов: 5–6 // Пластические массы. 2022. Vol. 1, № 5–6. P. 4–12.

УДК 691.175.664

## ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА, АРМИРОВАННЫЙ БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ

**Кияненко Е.А., Амерханова Г.И., Зенитова Л.А.**

*ФГБОУ ВО КНИТУ, город Казань, адрес ул.Карла Маркса, 68*

*E-mail: kiyanenکو.lena@yandex.ru*

В настоящее время наблюдается активное использование экологических материалов для наполнения полимерных композитов. Полиуретан обладает высокими прочностными свойствами, хорошей адгезией, повышенной масло-, бензостойкостью и т.д. Однако для использования его в качестве конструкционного материала необходимо повысить термическую стабильность, стойкость к горению с сохранением эластичности. С этой целью в данной работе применяется базальтовое волокно [1]. Полимерные композиционные материалы, армированные базальтовым волокном, демонстрируют высокое соотношение прочности и стоимости по сравнению с углепластиком, материалами на основе арамида и стали [2]. Однако при наполнении полимерных материалов может наблюдаться недостаточная адгезия между наполнителем и матрицей, что может привести к нарушению прочностных свойств. В данной работе с целью повышения адгезии в системе полимер-наполнитель используется модификация базальтового волокна с помощью высокочастотной плазмы пониженного давления [3]. Это способствует изменению поверхности – придание гидрофобному волокну гидрофильных свойств [4], что улучшает его распределение в полимерной матрице.

Эксперименты проводились для образцов, наполненных измельченным модифицированным базальтовым волокном до 10 % мас. При этом выявлено, что оптимальным количеством базальтового волокна является 1,0 % мас.: прочность при растяжении увеличилась на 23% по сравнению с аналогичным наполнением без обработки и на 63% по сравнению с ненаполненным аналогом, что объясняется более равномерным распределением наполнителя в полимерной матрице.

### Ссылки

[1] Амерханова Г.И. Базальтовое волокно-наполнитель полиуретанов / Г.И. Амерханова, Е.А. Кияненко, Л.А. Зенитова // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т.23, №8. – С.24-29.

[2] Оснос М.С. Базальтовые непрерывные волокна-основа для создания новых промышленных производств и широкого применения армирующих и композитных материалов / М.С. Оснос, С.П. Оснос // Композитный мир. –2019. – №1. – С.58-65.

[3] Амерханова Г.И. Полиуретановые композиции, наполненные плазмообработанным базальтовым волокном / Г.И. Амерханова, Л.А.Зенитова, Хацринов А.И. // Вестник Технологического университета. –2020. – Т.23, №12. – С.38-42.

[4] Амерханова Г.И. Исследование влияния плазмы высокочастотного разряда пониженного давления на свойства базальтовой ленты / Г.И. Амерханова, А.И. Хацринов, Л.А. Зенитова // Вестник технологического университета. – 2018. – Т.21, №1. – С.34-37.

УДК 675.925

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЛИЦЕВЫХ ПОКРЫТИЙ СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ

**Коваленко Г.М., Бокова Е.С., Петрова Е.К., Сафонова С.А., Малкова К.А.**

*ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», Москва, ул. Садовническая, д.33, стр.1*

*E-mail: gregoryi84@mail.ru*

Производство материалов для обуви, одежды, галантерейных изделий предопределяет интерес к увеличению объёмов выпуска синтетической кожи (СК) на основе растворов полиэфируретанов (ПЭУ). Для получения стабильных безусадочных лицевых покрытий СК из растворов полимера соотношение жестких и гибких блоков в нем (NCO/ОН индекс) должно быть в пределах от 4:1 до 6:1, что обеспечивает устойчивость пористой структуры пленок к действию сил капиллярной контракции.

В современных условиях ограниченных поставок импортного сырья, а также из-за отсутствия отечественных диизоцианатов для синтеза полимера, большинство доступных на российском рынке ПЭУ имеют эквимольное соотношение NCO/ОН равное 1:1, что приводит к получению нестабильных по размерам и форме плёночных покрытий с низким значением пористости. В этой связи одной из актуальных задач является поиск способов направленного структурообразования растворов полиэфируретанов в процессе фазового разделения.

Цель работы - исследование влияния предварительного структурообразования растворов полиэфируретанов на усадку пористых лицевых покрытий СК.

В качестве объекта исследования использовали 25% раствор ПЭУ марки Витур ТМ-1413-85 (ООО НПФ «Витур», г. Владимир, Россия) – продукт взаимодействия 4,4'-дифенилметандиизоцианата и полиэтиленбутиленгликольадипината при соотношении NCOУОН равным 1:1, среднemasсовая молекулярная масса – 40 кДа. В качестве растворителя применяли диметилформамид (ДМФА).

Пленки получали методом нанесения с последующим предварительным структурообразованием в среде водяного пара при T=50-90 °C и фазовым разделением в среде нерастворителя (воды) при температуре осадительной ванны 22±2 °C.

Выявлено, что предварительное структурообразование раствора в среде водяного пара приводит к переводу полимера в метастабильное состояние. Показано, что при изменении температуры 50 до 90°C усадка плёнок снижается от 40 до 1,5 %. Установлено, что при постоянной температуре обработки, равной 45 °C, при увеличении времени выдержки от 10 до 20 минут, процент усадки пленок снижается с 35 до 2%.



УДК 547.53.554+541.183.3

## ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИОНОБМЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ И АЛЛИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Ковригина Т.В., Хакимболатова К.Х., Чалов Т.К.**

*АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», Республика Казахстан,  
г. Алматы, ул. Валиханова, 106  
E-mail: kovriginatat@mail.ru*

Применение в качестве исходных мономеров при синтезе полифункциональных ионитов различных производных эпоксисоединений, в частности, диглицидилового эфира диоксифенилпропана (ЭД-20), обеспечивает упорядоченную структуру образующихся ионитов. Это связано с улучшением их основных физико-химических и сорбционных характеристик. Применение аллильных соединений, в свою очередь, позволяет повысить физико-механические, оптические и изоляционные свойства полимерных материалов.

С целью нахождения оптимальных условий синтеза анионообменников на основе аллилбромидов (АБ), ЭД-20 и различных полиаминов исследовали влияние соотношения исходных компонентов, температурного режима форконденсации и условий отверждения на некоторые физико-химические свойства ионитов. Установлено, что уменьшение концентрации полиаминов приводит к снижению статической обменной емкости (СОЕ) от 9,5 до 6,3 (в случае полиэтиленimina (ПЭИ)) и от 3,9 до 2,7 мг-экв/г (в случае поли-2-метил-5-винилпиридина (ПМВП)), что, по-видимому, обусловлено повышением плотности поперечных связей полимерного материала.

Исследование влияния температуры форконденсации и условий отверждения на СОЕ и набухаемость полученных ионообменников показало, что с ростом температуры форконденсации от 13 до 25°C существенно возрастает емкость ионита от 5,6 до 9,5 мг-экв/г в случае применения ПЭИ и от 2,2 до 3,9 мг-экв/г в случае ПМВП. Повышение температуры отверждения от 80 до 120°C приводит к уменьшению СОЕ анионитов и, соответственно, снижению набухаемости. Найдено, что с увеличением температуры реакции значительно повышается выход полимера. Так, максимальный выход ионита на основе ЭД-20, АБ и ПМВП (80%) достигается за 120 мин при 13°C, при 18°C за 90 мин (88%), при 25°C – за 60 мин.

Таким образом, установлены оптимальные условия синтеза: температура - 25°C; продолжительность - 1-2 ч.; массовое соотношение ЭД-20:АБ:ПЭИ = 1,5:1,0:3,0; ЭД-20:АБ:ПМВП = 1,5:1,0:2,0. Полученные аниониты с различным содержанием слабо- и сильноосновных групп могут быть использованы в качестве сорбентов ионов различных металлов в процессах гидрометаллургии.

### **Благодарность**

Работа выполнена в Институте химических наук им. А.Б. Бектурова по программе BR21882220 целевого финансирования научных исследований на 2023-2025 годы, осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

УДК 544.654.076.324.4;678

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТА ПОЛИМЕТИЛОАКРИЛАМИД/УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЙ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕН

**Колзунова Л.Г.<sup>1</sup>, Щитовская Е.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
проспект 100-летия Владивостока, 159, Владивосток 690022, Россия

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, о. Русский, п. Аякс 10, Владивосток 690922, Россия  
E-mail: kolzunova@ich.dvo.ru

Разработан способ одностадийного электрохимического формирования композита, состоящего из двух непроводящих полимерных фаз: полиметилоакриламида (ПМАА) и ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ). Установлено, что при введении УПТФЭ в мономерную композицию, содержащую акриламид, формальдегид, N,N'-метилден-бис-акриламид, электролиз в потенциостатическом режиме приводит к электрохимическому инициированию полимеризации акриламида с формированием ПМАА-пленки на катоде и одновременному захвату частиц УПТФЭ растущей полимерной матрицей, в результате чего формируется ПМАА/УПТФЭ-композит [1-2]. Время формирования композита 5 мин. Внедрение УПТФЭ в ПМАА-матрицу подтверждено методами РФА, СЭМ, МУРР. В состав композита входят как крупные (~1 мкм), так и наноразмерные (1–10 нм) частицы УПТФЭ. Разработана методика приготовления устойчивых водных дисперсий УПТФЭ с добавками лаурилсульфата натрия (ЛС) и силоксан-акрилатной эмульсии КЭ 13-36. Окраска ПМАА/УПТФЭ пленок изменяется от бесцветной и прозрачной, характерной для ПМАА, до молочно-белой, соответствующей УПТФЭ и КЭ 13-36, а светопрозрачность композитных пленок снижается, достигая минимума для ПМАА/УПТФЭ/КЭ 13-36. Увеличение времени электрополимеризации приводит к росту массы ПМАА/УПТФЭ, снижению конечного тока синтеза и набухаемости пленок, что указывает на лучшую изолирующую способность композита по сравнению с ПМАА.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института химии ДВО РАН, тема 3 FWFN 0205-2022-0001.

### Ссылки

[1] Колзунова, Л.Г. Одностадийный электрохимический синтез композита полиметилоакриламид/ультрадисперсный политетрафторэтилен / Л.Г. Колзунова, Е.В. Щитовская // Электрохимия. - 2023. - Т. 59, № 10. - С. 617-631.

[2] Пат. № 2810491. Способ электрохимического получения пленочного композита с включением ультрадисперсного политетрафторэтилена // Колзунова Л.Г., Щитовская Е.В. Заявка на изобретение № 2023108450. Дата приоритета 05.04.2023. Оpubл. 27.12.2023.

УДК 678

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЛИНЕЙНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА СТРЕТЧ-ПЛЁНОК

**Комаев Т.Э., Бокова Е.С.**

*РГУ им. А.Н. Косыгина, 115035, г. Москва, ул. Садовническая, 33  
E-mail: timur.komaev@gmail.com, bokova-es@rguk.ru*

Постоянное развитие и расширение рынка потребления гибкой полимерной упаковки стимулирует рост производительности синтеза и расширение ассортимента линейного полиэтилена низкой плотности, который в настоящее время является основным сырьём для выпуска плёнок.

Линейный полиэтилен производится на основании утверждённой технической и технологической документации – технических условий (ТУ), которые разрабатываются и утверждаются каждым конкретным производителем самостоятельно. Таким образом, в настоящее время нет единых требований к качественному и количественному составу рецептур ЛПЭНП различных марок, что создает серьёзные проблемы для производителей гибкой упаковки на территории РФ и ближнего зарубежья.

Одним из недостатков готовых стретч-плёнок, который зависит от качества исходного сырья, является отсутствие самоадгезии, являющейся одним из основных параметров функциональности данного вида продукции.

Цель работы – исследование влияния исходного сырья (ЛПЭНП) на адгезионные свойства упаковочной стретч-плёнки.

В качестве объектов исследования использованы марки отечественных ЛПЭНП (производства ПАО «Казаньоргсинтез», ПАО «Нижекамскнефтехим», 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 анализ, ИК-спектроскопии, а также термогравиметрического анализа установлено наличие в одной из марок полиэтилена избыточного содержания 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 (рандом сополимер пропилена и этилена марки Vistamaxx) и стеарата кальция. Предполагается, 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.

УДК 678.5.046

## ФОСФАЗЕНСОДЕРЖАЩИЕ ЭПОКСИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ

**Костромина Н.В., Малаховский С.С., Тарасов И.В., Олихова Ю.В., Горбунова И.Ю.**

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,  
125047, Москва, Миусская пл., 9  
E-mail: kostromina.n.v@muctr.ru*

Для регулирования свойств и кинетики отверждения эпоксидных олигомеров широко применяют структурное модифицирование путем добавления совместимых олигомеров с более высокой функциональностью. К таким модификаторам относятся фосфазены с эпоксидными группами в органическом радикале, способными взаимодействовать с реакционноспособными группами компонентов эпоксидной композиции. В исследовании применяли смесь эпоксидиановых олигомеров и эпоксифосфазенов, полученную одностадийным синтезом фосфазенсодержащих эпоксидных олигомеров. Реакцию осуществляли одновременной конденсацией гексахлорциклотрифосфазена, дифенилолпропана и эпихлоргидрина в присутствии твердого гидроксида калия в среде эпихлоргидрина, который одновременно выполнял функции и реагента, и растворителя. В качестве основного компонента связующего применяли эпоксидную смолу ЭД-20, в качестве отвердителя – диаминдифенилсульфон, который вводили в связующие в стехиометрическом количестве. Установлено, что модификация эпоксидной смолы ЭД-20 эпоксифосфазеновыми олигомерами приводит к увеличению температуры стеклования – главным образом, из-за дополнительных ароматических колец в структуре эпоксифосфазеновой смолы. Для немодифицированного связующего на основе ЭД-20 температура стеклования составила 160 °С, для модифицированной эпоксифосфазеном системы – 171 °С, отвержденный фосфазен с эпоксидными группами имел температуру стеклования 200 °С. Ударная вязкость модифицированной эпоксидной смолы ЭД-20 проходит через максимум с увеличением содержания эпоксифосфазенового модификатора и составляет 3,9 кДж/м<sup>2</sup> для немодифицированного связующего на основе ЭД-20, при введении в связующее 20 масс. ч. эпоксифосфазенового модификатора ударная вязкость повышается до 10,2 кДж/м<sup>2</sup>. Области сетки химической связи, образованные фосфазеновыми компонентами, могут являться диссипаторами энергии ударного воздействия, что и приводит к повышению устойчивости композиций к ударным нагрузкам. Установлено, что эпоксидная смола ЭД-20, модифицированная эпоксифосфазеном, характеризуется пониженной горючестью и повышенной термостойкостью. Полученные связующие могут найти применение для создания материалов в авиакосмической технике.

### Ссылки

[1] Bornosuz N.V., Gorbunova I.Y., Petrakova V.V., Shutov V.V., Kireev V.V., Onuchin D.V., Sirotin I.S. Isothermal kinetics of epoxyphosphazene cure // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13. – № 2. – P. 297-313.

УДК 541.572.54+541.67+544.7

## МОНО- И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛАМИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИТРАТОВ МЕТАЛЛОВ

**Кугабаева Г.Д.<sup>1,2</sup>, Голубева Н.Д.<sup>1</sup>, Кыдралиева К.А.<sup>2</sup>, Букичев Ю.С.<sup>1,2</sup>,  
Джардималиева Г.И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр проблем химической физики РАН, Черноголовка, пр.акад.Семенова, 1, 142432, Российская Федерация*

<sup>2</sup> *Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г. Москва, Волоколамское ш., д. 4, Российская Федерация  
E-mail: kugabaeva@icp.ac.ru*

Материалы, содержащие магнитные наночастицы, являются важной основой при разработке современных технических приложений, таких как носители магнитной записи высокой плотности, катализаторы, контрастные агенты, гипертермия и системы доставки лекарств в биомедицине. Особый интерес, в том числе и для каталитических целей, представляют элемент-допированные наноконпозиты, в частности N-допированные металл-углеродные наноконпозиты. Нами разработан оригинальный метод получения металл/N-допированных углеродных наноконпозитов посредством сопряженного процесса фронтальной полимеризации и контролируемого термолитиза акриламидных комплексов нитратов металлов [1-3]. Изучены структурные характеристики получаемых наноконпозитов методами рентгенофазового анализа (РФА), электронной микроскопии, ИК-спектроскопии и термического анализа. Анализируются магнитные и каталитические свойства полученных наноконпозитов.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках государственных заданий, № государственной регистрации 124013000722-8 и 124013000757-0.

### Ссылки

- [1] Dzhardimalieva G.I. Conjugated Thermolysis of Metal-Containing Monomers: Toward Core-Shell Nanostructured Advanced Materials / Dzhardimalieva G.I.; Uflyand I.E. // J. Inorg. Organometal. Polym. Mater.– 2020. –Vol. 30.– N 1. – P. 88-110.
- [2] Chaudhary P. Development of nanostructured nickel reinforced polyacrylamide via frontal polymerization for a reliable room temperature humidity sensor / Chaudhary P., Kumar D. M., Sikarwar S., Yadav B.C., Dzhardimalieva G.I., Prakash R. // Europ. Polym. J. –2019. –Vol. 112. –P. 161–169.
- [3] Kugabaeva G. D. Polymer-assisted synthesis, structure and magnetic properties of bimetallic FeCo- and FeNi/N-doped carbon nanocomposites / Kugabaeva G. D., Kydralievа K. A., Bondarenko L.S., Baimuratova R. K., Karpenkov D. Y., Golovkova E. A., Degtyarenko P. N., Golubeva N. D., Uflyand I. E., Dzhardimalieva G. I. // Magnetochemistry. – 2023. – Vol. 9. – 213. DOI: <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry9100213>.

УДК 541.66

## ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОРАСШИРЯЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ, ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ПОЛИЭФИРАМИННЫХ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ

**Кукушкин В.А., Субботин В.Е., Щепетова А.Ю., Яшин Н.В., Авдеев В.В.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Химический факультет, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 11  
E-mail: kukushkinva97@yandex.ru*

Пожары являются одним из основных факторов техногенного риска, для снижения которого применяют комплекс мер, включающих применение огнезащитных терморасширяющихся эпоксидных материалов (ОЭМ), используемых в качестве покрытий конструкций зданий и сооружений с целью увеличения их огнестойкости [1].

Одними из наиболее распространенных отвердителей для ОЭМ являются полиамины и, в частности, полиэфирамины. Целью данной работы было изучение влияния длины цепи полиэфираминного отвердителя на огнезащитную эффективность (ОЭ) ОЭМ на его основе, для чего была подготовлена серия образцов, содержащих полиэфирамины с различной средней молекулярной массой  $M_{cp}$  в комбинации с соотвердителем – основанием Манниха, применяемым для обеспечения приемлемой жизнеспособности смеси (Табл. 1). ОЭ определяли по методике ГОСТ Р 53295—2009 на стальных пластинах 240×240×5 мм в условиях стандартного режима горения.

Таблица 1. Зависимость огнезащитной эффективности от состава ОЭМ

Образец	$M_{cp}$ полиэфирамина	Масс. соотношение	ОЭ, мин
А1	240	1/1	59
А2		1/2	51
Б1	460	1/1	57
Б2		1/2	52
В1	2056	1/1	50
В2		1/2	53

Показано, что наибольшая ОЭ достигается при использовании полиэфираминов с  $M_{cp}$  240–460 г/моль в смеси с равным по массе количеством основания Манниха.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках проектов: № 123030200019-5 (№ дог. 202/23 от 01.02.23) и № АААА-А21-121011590086-0.

### Ссылки

[1] Zybina O., Gravit M. Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. – Springer. – 2020. – 224 p.



## ВЛИЯНИЕ СТЕАРАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ ДЕСТРУКЦИЮ ПОЛИЭТИЛЕНА

**Купинский Н.Г.<sup>1</sup>, Пантюхов П.В.<sup>1,2</sup>, Попов А.А.<sup>1,2</sup>,**

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова»,  
г. Москва, Стремянный переулок, д. 36*

<sup>2</sup> *ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля  
Российской академии наук, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4,  
E-mail: Kupinskiy.NG@rea.ru mailto:shell1183@mail.ru*

Более 65% крупнотоннажных полимеров в мире приходится на полиолефины (полиэтилен, полипропилен и др.), к тому же заметна тенденция к росту [1]. Объем различных промышленных и бытовых отходов растет соразмерно потреблению полимерных изделий [2]. Предлагается множество путей решения данной проблемы, и одним из перспективных видится: модификация материалов на основе небiorазлагаемых полимеров для ускорения их окислительной деструкции. Ключевой принцип заключается в катализе переходными металлами стадий зарождения и разветвления цепи реакций окисления в процессе окислительной деструкции полиолефинов [3]. В данной работе изучена серия образцов на основе ПЭВП с добавлением стеаратов переходных металлов (меди, марганца, никеля, кобальта, железа и хрома). Состав рассчитывался на основании сопоставления с рекомендуемым количеством вводимой коммерческой добавки D2W (Symphony, Великобритания). Образцы были искусственно состарены в климатической камере в соответствии со стандартным циклом ASTM D5208-14(2022), Cycle В. Для оценки влияния стеаратов на процесс окислительной деструкции рассчитан карбонильный индекс на основе данных ИК-Фурье спектроскопии и рассмотрена динамика изменения физико-механических и реологических свойств для исходных и состаренных образцов.

В результате установлено, что наиболее перспективным в качестве основы добавки, ускоряющей процесс окислительной деструкции, представляется стеарат никеля, а стеарат меди, наоборот, замедляет окислительные процессы в ПЭВП.

### Ссылки

- [1] Волкова А. В. / Рынок крупнотоннажных полимеров. – М.: Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики Центр развития, 2020. - 74 с.
- [2] Волкова А. В. / Рынок утилизации отходов. – М.: Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики Центр развития, 2018. - 87 с.
- [3] Лин Д. Г., Воробьева Е. В. / Инициирование и подавление термического окисления полиэтилена в контакте с металлами и их соединениями // М-во образования РБ, Гомельский гос. Ун-т им. Ф. Скорины – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 228 с.

УДК 544.478.41

## СЕЛЕКТИВНОЕ ГИДРИРОВАНИЕ ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ НАНОЧАСТИЦАМИ РУТЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫМ ПОЛИПИРИДИЛФЕНИЛЕНОМ

**Кучкина Н.В.<sup>1</sup>, Сорокина С.А.<sup>1</sup>, Михайлов С.П.<sup>2</sup>,  
Васильев А.Л.<sup>3</sup>, Матвеева В.Г.<sup>2</sup>, Шифрина З.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, Москва,  
ул. Вавилова, д. 28, стр.1

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, Тверь,  
наб. Афанасия Никитина, д. 22

<sup>3</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Ленинский пр-т., 59  
kuchkina@ineos.ac.ru

Производство гамма-валеролактона (ГВЛ) из левоулиновой кислоты (ЛК) является одной из перспективных реакций в области переработки биомассы. Процесс гидрирования ЛК происходит с использованием металлсодержащих катализаторов. Разработка новых катализаторов для эффективной переработки биомассы является важным направлением исследований для комплексного решения проблем экологии.

Работа посвящена синтезу и исследованию наночастиц (НЧ) Ru, стабилизированных сверхразветвленным пиридилфениленовым полимером для гидрирования ЛК до ГВЛ. Наличие пиридилных функциональных групп в полимерном носителе позволило получить комплексный композит RuCl<sub>3</sub> с разветвленным полимером. НЧ Ru получали двумя способами: предварительным восстановлением RuCl<sub>3</sub> в композите боргидридом натрия или восстановлением *in situ* полимерного композита с RuCl<sub>3</sub> при гидрировании ЛК. Полученные композиты были охарактеризованы методами просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, порошковой дифракцией. В результате гидрирования ЛК были достигнуты 100% конверсия ЛК и селективность по ГВЛ в мягких условиях при низкой загрузке Ru для обоих катализаторов. Однако, Ru - катализатор, образующийся *in situ* проявлял более высокую каталитическую активность (TOF), по сравнению с предварительно синтезированными НЧ Ru. Катализаторы показали высокую стабильность при повторном использовании в шести последовательных каталитических циклах [1].

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-43-02025).

### Ссылки

[1] Kuchkina N., Sorokina S., Grigoriev M., Sulman M., Bykov A., Shifrina Z. Polymer supported Ru nanoparticles for highly selective hydrogenation of biomass derived levulinic acid to  $\gamma$  valerolactone: Does the polymer affect the catalytic performance? // J. Nanoparticle Res. – 2024. Vol. 24. – P. 38.

УДК 66.095.261

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПАСТООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ БЕЗЭМУЛЬГАТОРНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ

Ладилова Н.Ю.<sup>1</sup>, Ермолаев И.Д.<sup>1</sup>, Корниенко П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ полимеров, г. Дзержинск Нижегородской обл., Россия, 606000

E-mail: [ladilova@nicp.ru](mailto:ladilova@nicp.ru)

При получении пастообразующих полимеров (высокосорбционных (со)полимеров) с необходимым комплексом технологических свойств большое значение придается форме и размерам полимерных частиц получаемых, как правило, эмульсионной полимеризацией мономеров, стабилизированных поверхностно-активными веществами с последующим выделением агломерированных частиц (1-8 мкм) сушкой латекса горячим воздухом.

В работе исследовались особенности синтеза сополимеров винилхлорида, (мет)акриловой кислоты и (мет)акриловых эфиров. Установлена возможность образования сополимера с необходимыми гранулометрическими параметрами уже на стадии синтеза при проведении эмульсионной полимеризации без применения специально добавляемых эмульгаторов. В исследуемой полимеризационной системе ионизируемый инициатор персульфатного типа оказывает ключевое влияние - заряженные концевые группы радикала, образующиеся в ходе синтеза, стабилизируют мономерно-полимерные частицы, выступая одновременно в роли эмульгатора и инициатора. При этом размер полимерных частиц будет зависеть от концентрации инициатора и температуры процесса [1-3].

Показано, что безэмульгаторной полимеризацией метакриловой кислоты и ее эфира в присутствии персульфатного инициатора в диапазоне концентраций 0,4 – 1,0 % масс. (от мономера) и температуре синтеза 70–75 °С образуются укрупненные полимерные частицы (1,5 – 6 мкм) с сохранением необходимых физико-химическими характеристиками, выделение которых возможно обычной декантацией. Проведение синтеза за пределами найденных оптимальных концентрационных и температурных значений приводит либо к уменьшению размера частиц пастообразующего полимера (например, при температуре полимеризации 75 - 80°С или при концентрации инициатора ниже 0,4 %), либо к образованию твердых не перерабатываемых полимерных корок (например, при концентрации инициатора выше 1,0 %).

### Ссылки

- [1] Кожевников Н. В., Гольдфейн М.Д., Кожевникова Н. И. Особенности образования акрилат-ных латексов при эмульсионной полимеризации в отсутствие эмульгатора // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. - 2014. Т. 14, № 1.
- [2] Елисеева В. И., Асламазова Т. Р. Эмульсионная полимеризация в отсутствие эмульгатора и латексы на её основе // Успехи химии. - 1991. Т. 60, № 2. - С. 398–429.
- [3] Shouldice G.T.D., Vandezande G.A., Rudin A. Practical aspects of the emulsifier-free emulsion polymerization of styrene // Eur. Polym. J. - 1994. V. 30. №2. - P.179-183.

УДК 54-185::[54-412.1+544.6.018.47-036.5]

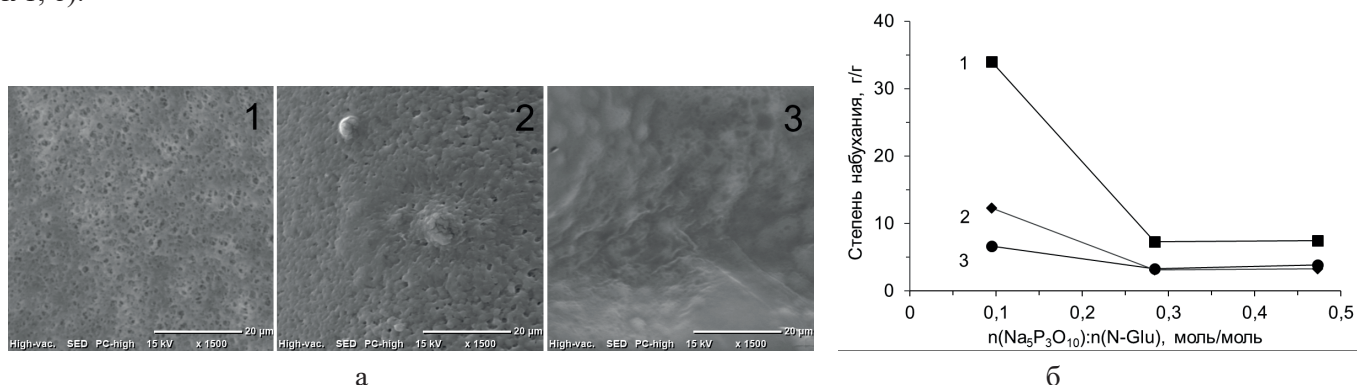
## СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА, СШИТОГО ТРИФОСФАТОМ НАТРИЯ

Ливонович К.С., Гурина З.С.

Государственное научное учреждение «Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь, 220141, г. Минск, ул. Ф.Скорины 36  
E-mail: konstantin.livonovich@yandex.by

Получены гидрогели на основе хитозана (ХД1250,  $M_v$  1250 кДа, степень деацетилирования 92%) и трифосфата натрия по модифицированной методике [1]. Структуру лиофилизированных (Labconco, США) образцов гидрогелей исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, JSM-6000, Япония). Степень набухания образцов исследовали при  $20 \pm 1$  °С, выдерживая образцы массой 50 мг в 25 мл воды 24 ч, после чего фильтровали и взвешивали.

Гидрогели, сформированные в уксусной кислоте, обладают пористой структурой. В соляной кислоте наблюдаются частицы размерами 1-5 мкм, которые формируют агломераты при избытке трифосфата натрия. Гидрогели, сформированные в молочной кислоте, обладают меньшей пористостью, что, вероятно, обусловлено способностью противоиона к формированию множественных водородных связей (Рисунок 1, а). При мольном отношении трифосфата натрия к мономерным звеньям N-глюкозамина ( $n(\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}):n(\text{N-Glu})$ ), равном 0,095, степень набухания гидрогелей определяется природой кислоты, используемой для растворения ХД1250 (Рисунок 1, б).



**Рисунок 1.** СЭМ (а) и степень набухания (б) гидрогелей от мольного отношения трифосфат анионов и N-глюкозамина в 0,2 М растворах кислот: 1 – соляная; 2 – молочная; 3 – уксусная

Полученные данные указывают на влияние противоиона водорастворимых форм хитозана и его производных на структуру гидрогелей, сшитых трифосфатом натрия, и, как следствие, на диффузию лекарственных субстанций в гидрогеле.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № X23РНФМ-048.

### Ссылки

[1] Fabrication of polysaccharides-based hydrogel films for transdermal sustained delivery of Ibuprofen / X.-H. Wang [et al.] // Cellulose. – 2020. – Vol. 27, № 17. – P. 10277-10292.

УДК 665.939.5

## ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СУБСТРАТОВ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ЭПОКСИДНОЙ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ

**Лобан О.И.<sup>1</sup>, Олихова Ю.В.<sup>2</sup>, Горбунова И.Ю.<sup>2</sup>, Ковалев М.В.<sup>2</sup>, Вялов А.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> АО «Композит», г. Королёв, ул. Пионерская, 4

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,

г. Москва, Миусская пл., д. 9

E-mail: loi990@mail.ru

При изготовлении клеев необходимо учитывать значительное количество факторов, среди которых: вид и особенности склеиваемых поверхностей, условия нанесения и фиксации клея, виды воздействующих нагрузок и другие [1]. Одним из наиболее важных факторов, обеспечивающих высокую адгезионную прочность клеевого соединения, является хорошее смачивание поверхности склеиваемых субстратов. Смачивание, оцениваемое по краевому углу смачивания, зависит не только от удельной свободной поверхностной энергии субстрата, поверхностного натяжения смачивающей жидкости (клеевой композиции) и межфазного натяжения, но также и от шероховатости поверхности субстрата [2].

Было исследовано влияние шероховатости поверхности стали марки 12Х18Н10Т и алюминиевого сплава АМг6 на адгезионную прочность при склеивании субстратов эпоксидной композицией на основе смолы ЭД-20, отверждаемой аминным отвердителем Арамин. Для снижения вязкости в состав композиции вводили активный разбавитель – олигоэфирэпоксид. Для улучшения смачивания использовали неионное поверхностно-активное вещество. Для придания клею токопроводящих свойств в состав композиции – смесь углеродных наполнителей.

Каждая склейка представляла собой две пластины из стали или алюминиевого сплава, склеенные внахлест при помощи исследуемой клеевой композиции. Отверждение осуществляли при комнатной температуре в течение 14 суток (контактное давление – 20 кПа). Прочность при сдвиге определяли по ГОСТ 14759-69. Шероховатость пластин, характеризуемую параметрами  $R_a$  и  $R_z$  (ГОСТ 2789-73), изменяли путем механического истирания шлифовальной шкуркой с разной зернистостью (от 5-Н до 25-Н) и измеряли на профилометре модели 130 (АО «Завод ПРОТОН»).

Было установлено, что, независимо от вида субстрата, адгезионная прочность повышалась на 33-38% при значениях  $R_a$  в диапазоне от 1,8 до 2,3 мкм (значения  $R_z$  при этом составляли 6-7 мкм). Прочность при сдвиге склеенных пластин из АМг6 составила 6,7 МПа, при испытаниях склеенных стальных пластин – 12,8 МПа.

### Ссылки

[1] Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги. Учебное пособие. Под общей редакцией Е.Н. Каблова. М. : ВИАМ, 2017. – 472 с.

[2] Назаров В.В. Коллоидная химия: учеб. пособие. М. : ДеЛи плюс, 2015. – 250 с.

УДК 547.794.3

## ПРОСТОЙ БЕЗМЕТАЛЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТИАЗОЛО[5,4-d] ТИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Лолаева А.В.<sup>1</sup>, Живчикова А.Н.<sup>1,2</sup>, Аккуратов А.В.<sup>1</sup>, Кузнецов И.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, 142432, Россия, Черноголовка, проспект акад. Семенова, д.1

<sup>2</sup>Сколковский институт науки и технологий, 143026, Россия, Москва, ул. Нобеля, д.3

E-mail: [alina.lolaewa@yandex.ru](mailto:alina.lolaewa@yandex.ru)

Введение блока тиазоло[5,4-d]тиазола в основную цепь сопряженных полимеров значительно улучшает характеристики оптоэлектронных и фотовольтаических устройств на их основе [1]. Основные методы получения сопряженных полимеров, реакции кросс-сочетания Сузуки и Стилле, имеют ряд недостатков таких, как использование катализаторов на основе палладия, а также дорогих, малостабильных и токсичных прекурсоров. В данной работе был получен новый полимер тремя способами – классическими реакциями кросс-сочетания Сузуки (**PCBTTz-Sz**), Стилле (**PCBTTz-St**) и альтернативной простой безметалльной конденсацией гетероароматических диальдегидов и дитиокасида (**PCBTTz-C**, Рис.1). Сравнительное исследование трех полимеров в качестве дырочно-транспортных материалов в перовскитных солнечных батареях показало, что полимер **PCBTTz-C**, полученный альтернативным путем, обеспечивает высокие характеристики устройств. Факторы заполнения ячеек достигают до 70%, что говорит о хороших полупроводниковых свойствах полимера. Таким образом, данный подход имеет большой потенциал для разработки перспективных фотоактивных полимеров.

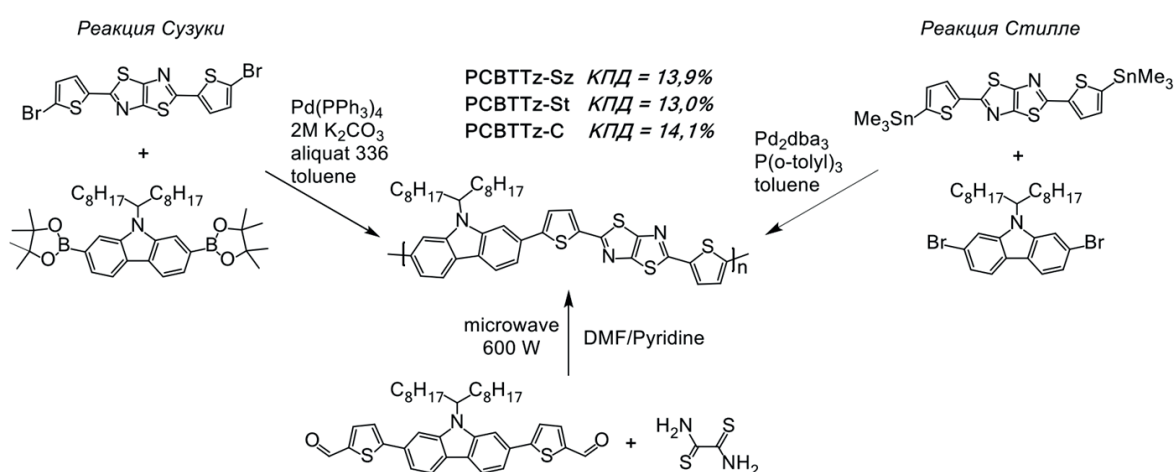


Рисунок 1. Синтез полимеров **PCBTTz-Sz**, **PCBTTz-St**, **PCBTTz-C**.

### Благодарность

Характеризация полимеров выполнена в рамках государственного задания № 122111700041-8 (FFSG-2022-0004).

### Ссылки

Nikitenko S. L., Proshin P. I., Kuznetsov I. E., Karpov S. V., Anokhin D.V., Ivanov D. A., Troshin P. A., Akkuratov A. V. // Solar Energy – 2022. V. 232. – P. 12-17.



## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Хамидуллин О.Л., [Мадиярова Г.М.](#), Кондрашов Д.А.

*КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань, ул. Карла Маркса, 10  
E-mail: [gulnazka\\_madiyarova@mail.ru](mailto:gulnazka_madiyarova@mail.ru)*

Порошковые технологии получения композитов являются перспективным направлением исследований, о чем свидетельствует высокая публикационная активность. Несмотря на это, работ посвященных бензоксазиновым и эпоксибензоксазиновым порошковым связующим практически не обнаружено. Бензоксазины являются одним из наиболее перспективных видов мономеров для получения полимеров с высокими эксплуатационными свойствами.

В данной работе продемонстрирована технология нанесения на углеткань и получение композитов на основе порошковых эпоксидно-бензоксазиновых связующих. В работе использовались следующие объекты: углеткань УТР1000-3-200С2 (ООО «Ниагара») саржевого переплетения, эпоксидная смола D.E.R.671 (Dow Chemical Company), бензоксазиновое соединение на основе бисфенола А и анилина (ВА-а) собственного синтеза.

Для пропитки жгутов волокон порошковым связующим в работе использовали электростатическое напыление. Наличие электростатического заряда при напылении в электростатическом поле позволяет уменьшить краевой угол смачивания, что приводит к увеличению пропитывающей способности связующего и повышению качества пропитки. Углеткань закреплялась в токопроводящей рамке и подсоединялась к токопроводнику камеры. Напыление проводилось с двух сторон. После напыления ткань с рамкой нагревали в распылительной камере до 90-110°C, при этом распыленный порошок расплавлялся и растекался по волокнам ткани.

Полученные материалы можно консолидировать в пластины необходимой толщины в вакуумном мешке при температуре 100-120°C. Для изучения процесса консолидации проводились эксперименты на универсальном модульном ротационном динамическом реометре НААКЕ RheoStress 6000 с имитацией вакуумного мешка, наблюдая за изменением толщины пакета при подъеме температуры. Процесс консолидации пластин для проведения механических испытаний и процесса термоформования проводили следующим образом: на металлическую пластину, покрытую антиадгезионной смазкой укладывали 10 слоев сухих семипрегов 0°/90°, собирали вакуумный мешок, прикладывали вакуум и поднимали температуру до 100-120°C со скоростью 5°C/мин. Механические испытания образцов углепластиков проводились на электромеханической универсальной испытательной машине Instron 5882 (100 кН).

УДК 66.096.261

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ДАВЛЕНИЮ АДГЕЗИВОВ

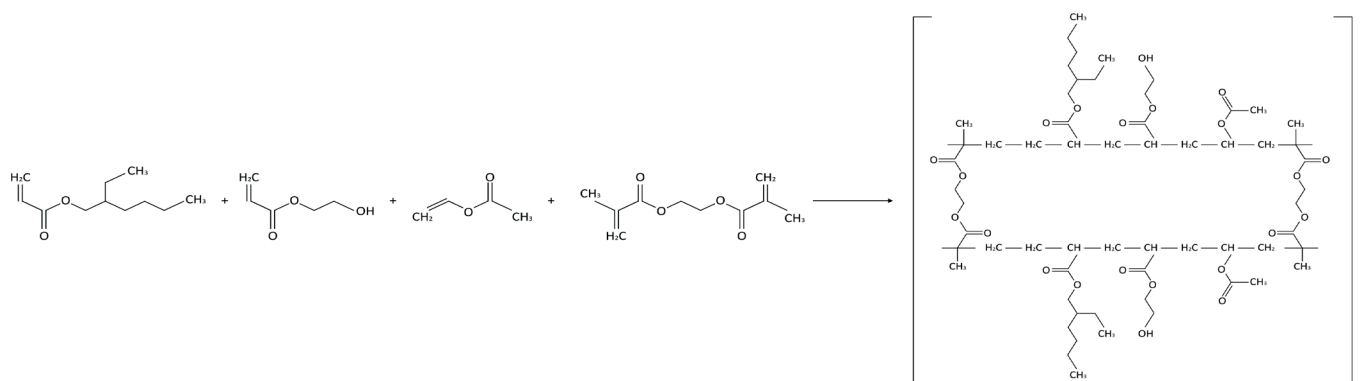
**Малков В.Э.,** Ладилова Н.Ю., Сивова О.А., Корниенко П.В.

НИИ полимеров, г. Дзержинск Нижегородской обл., Россия, 606000

E-mail: orp4@nicpr.ru

Адгезивы, чувствительные к давлению (ЧДА), на основе акриловых сополимеров находят широкое применение во многих областях техники и широко используются в процессах, требующих временного нанесения клеевого материала к подложке без дополнительной активации с последующим его бесследным удалением. [1,2]

В работе исследованы особенности получения ЧДА на основе органорастворимых (мет)акриловых сополимеров 2-этилгексилакрилата, 2-гидроксиэтилакрилата, винилацетата, диметакрилатов этилен- и полиэтилен-гликоля, триаллилизотиоцианурата и др.



Показано, что клеевая способность ЧДА (прочность клеевого слоя при расслаивании и отслаивании) комплексно определяется как микроструктурой (соотношением функциональных звеньев), так и молекулярно-массовыми характеристиками, и степенью сшивки сополимера. Например, введение в состав сополимера диметакрилата этиленгликоля в количестве до 0,3 % масс позволяет создать редкосшитую структуру сополимера, которая приводит к росту прочностных показателей ЧДА (прочность при расслаивании (методика определения по ГОСТ 28966.1-91) после выдержки образца в течение 24 часов увеличивается с 22 до 35 Н/25 мм при одновременном возрастании прочности клеевого слоя при отслаивании (методика определения по ГОСТ 28966.2-91) с 12 до 27 Н/25 мм).

### Ссылки

- [1] Satas, D. Tailoring pressing-sensitive adhesive polymer / D. Satas // Adh. Age. - 1972. Vol. 15, №10. - P. 19-23.  
 [2] Шарова И.А., Петрова А.П. Обзор по материалам Международной конференции по клеям и герметикам WAC-2012 // Труды ВИАМ. - 2013. - №8. - С. 6.

УДК 541(64+154):542.952

**КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ С ПЕРЕНОСОМ АТОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ТОЗИЛАТА БИС(К<sup>2</sup> N,N'-4-(ПИРИДИН-2-ИЛ)-1,2,3-ТИАДИАЗОЛ) МЕДИ (II)**

**Малова В.В.<sup>1</sup>, Гостев А.И.<sup>1</sup>, Еремин А.В.<sup>2</sup>, Сивцов Е.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера*

<sup>2</sup>*Институт высокомолекулярных соединений российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Большой проспект Васильевского острова, дом 31  
E-mail: malova.valeria.1@mail.ru*

Полимеризация с переносом атома является одним из основных методов получения полимеров с заданными структурой и свойствами. Контроль полимеризации осуществляется за счет обратимой передачи атома галогена от неактивной молекулы к металлорганическому катализатору. В настоящее время актуальными являются вопросы уменьшения концентрации катализатора, поиск новых стабильных катализаторов, отказ от металлокомплексных катализаторов, смягчение условий проведения полимеризации. ARGET ATRP (activator regenerated by electron transfer ATRP) предполагает активацию и непрерывную регенерацию катализатора восстановителем, что позволяет использовать более стабильные комплексы (меди (II)) в меньших концентрациях.

В настоящей работе исследована полимеризация стирола, метилметаакрилата, акрилонитрила методом ARGET ATRP. В качестве катализатора был использован, впервые, синтезированный комплекс – [Cu(II)(2-Py-dtz)<sub>2</sub>](TsO)<sub>2</sub>, стабильный при хранении. Термическая стабильность комплекса подтверждена термогравиметрическим анализом. В инертной атмосфере комплекс не претерпевает разложения и изомеризации вплоть до температуры 215 °С. Таким образом, в стандартных условиях проведения полимеризации ожидается стабильность структуры данного комплекса.

Активация и реактивация катализатора осуществлялась с помощью восстанавливающих агентов: тозилата гидразония и аскорбиновой кислоты. Инициирование полимеризации осуществлялось за счет передачи атома брома от метил-α-бромизобутирата комплексу металла, и образования радикала. После чего реализовывалось классическая схема ATRP.

На примере полимеризации стирола показано влияние соотношений концентраций инициатора, катализатора и активатора-реактиватора на выход и молекулярно-массовые характеристики полимера. Полученные образцы характеризуются унимодальным (ММР). Кроме того, были найдены соотношения концентраций инициатора, катализатора и активатора-реактиватора, позволяющие получить полимеры с узким ММР (Đ<1,4). Таким образом, комплекс [Cu(II)(2-Py-dtz)<sub>2</sub>](TsO)<sub>2</sub> может быть использован в качестве катализатора в ATRP винильных мономеров.

УДК 541.64: 543.421/.424

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ АГРЕГАЦИИ ЛАТЕКСНЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИСТИРОЛА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**Маркова А.И., Хижняк С.Д., Пахомов П.М.**

*Тверской государственной университет, Тверь, Садовый переулок 35*

*E-mail: alenamarkova1992@gmail.com*

Вследствие широкого применения латексов представляет интерес изучение их строения. Размер полимерных частиц и их распределение по размерам являются важнейшими коллоидно-химическими параметрами латексов, поскольку оказывают существенное влияние на их свойства. Для определения размера частиц нами ранее был разработан и успешно применен спектроскопический метод, основанный на выделении в спектре пропускания рассеивающей компоненты.

Целью настоящей работы являлось изучение агрегации латексных частиц полистирола (ПС) с модифицированной поверхностью при помощи спектроскопического метода (УФ, видимая и ИК области спектра).

В качестве образцов исследования были взяты латексы на основе водных растворов сферических частиц ПС с модифицирующими амино- и карбоксильными группами на поверхности в различных концентрациях и с диаметром частиц 0.5 и 4.0 мкм. Кроме того, была исследована смесь латексов с разноименными группировками на поверхности. Выделение в оптическом спектре (УФ, видимый и ИК диапазоны) рассеивающей компоненты спектра, связанной с рассеянием на частицах, осуществляли путем вычитания из спектра воды спектра латекса. Распределение частиц дисперсной фазы по размерам получали путем дифференцирования спектр вычитания (спектр рассеяния) по длине волны с учетом факта дифракционного рассеяния. Для контроля размера рассеивающих частиц в латексе также использовали методы электронной сканирующей микроскопии (СЭМ) и динамического рассеяния (ДСР).

В ходе исследований установлено, что с ростом концентрации частиц в латексе происходит их агрегация. При этом агрегация частиц в латексе происходит по-разному, что, в первую очередь, обусловлено различной силой водородного связывания амино- и карбоксильных групп на поверхности. Спектроскопические данные о размере рассеивающих частиц в латексе подтверждены независимыми методами СЭМ и ДСР.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно заключить, что предлагаемый спектроскопический метод можно с успехом использовать для изучения морфологии латексов с размером частиц, лежащих в микронном диапазоне.

### **Благодарность**

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования Тверского государственного университета.

УДК 691.175.2

## ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИОННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

**Медведева А.С., Матис М.Е., Агеева Т.А.**

*Ивановский государственный химико-технологический университет,  
г. Иваново, Шереметьевский проспект, д. 7  
E-mail: alina\_medv@internet.ru*

Создание функциональных материалов на основе полимеров является перспективным направлением развития химической технологии. Известно, что придание полезных свойств полимерным материалам возможно при введении в полимерную матрицу различных активных добавок, например, макрогетероциклических соединений [1]. В настоящее время большое количество работ посвящено исследованию перспектив применения ионных жидкостей в полимерной химии, особенно, в качестве модификаторов полимеров для придания им различных функциональных свойств. Известно, что ионные жидкости проявляют пластификационный эффект, увеличивают электрохимическую проводимость, снижают горючесть полимеров [2].

Целью предлагаемой работы являлась разработка методики получения полимерных пленочных материалов на основе диацетата целлюлозы, модифицированных ионными жидкостями различной структуры: 1-бутил-3-метилимидазолий гексафторфосфатом, 1-этил-3-метилимидазолий трифторметаносульфатом, 1-бутил-3-метилимидазолий тетраборатом, 1-бутил-3-метилимидазолий хлоридом. Были подобраны оптимальные условия для получения однородных прозрачных пленок методом полива из раствора: выбран оптимальный растворитель, соотношение компонентов. Были исследованы спектральные свойства полученных материалов в УФ-, видимой, ближней ИК-, ИК-областях.

### **Благодарность**

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FZZW-2023-0009).

### **Ссылки**

- [1] Функциональные материалы на основе тетрапиррольных макрогетероциклических соединений / Под ред. О.И. Койфмана. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 848 с.  
[2] Ионные жидкости: теория и практика (Проблемы химии растворов) / Отв. ред. А.Ю. Цивадзе. – Иваново: АО «Ивановский издательский дом», 2019. – 672 с.

УДК 541.64

**ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКОГО (СО)ПОЛИАМИДА****Струсовская Н.Л., Матушкина Н.Н.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет,  
Москва, 119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3, ГСП-1, МГУ, химический факультет  
E-mail: mnnmsu1958@mail.*

В мире в настоящее время работает около ста первапорационных модулей, большинство из которых предназначены для дегидратации различных растворителей. Известно, что проблема разделения водно-спиртовых растворов и дегидратация N,N-диметилацетамида (ДМАА), образующих азеотропы, важна для получения полимерных материалов, обезвоженных спиртов для медицины, топливной, пищевой и других отраслей промышленности. Полиамидные пленки из-за их высокой термической стабильности, хорошей механической прочности и высокой устойчивости к органическим растворителям рассматриваются как перспективные мембранные материалы. В работе был использован (со)полиамид (СПА) на основе хлорангидрида терефталевой кислоты с 4,4'-диаминодифенилоксидом и 3,5-диаминобензойной кислотой в N-метил-2-пирролидоне (N-МП) [1]. Установлено, что после вымачивания образцов в воде масса пленки уменьшается больше, чем после вымачивания в изопропанол. Возможно, это связано с разной полярностью молекул исследуемых растворителей. В процессе первапорации было изучено разделение смеси вода-изопропанол в интервале концентраций 0-100 масс.% воды при разных температурах. Полученные данные показывают, что во всем диапазоне исследуемых концентраций пермеат обогащен водой. Коэффициенты разделения для мембран СПА сравнимы с мембранами РИМ и ТФС. При изучении температурной зависимости сорбции, проницаемости и селективности водных растворов ДМАА (5:1) мембран СПА было показано, что сорбция раствора полимером не изменяется в пределах 20 — 50оС, затем уменьшается, а проницаемость разделяемой смеси возрастает в 2-3 раза, причем пермеат содержит только воду. Таким образом, изученный ароматический (со)полиамид может быть предложен как основа для получения селективных мембран при дегидратации спиртов и органических растворителей.

**Благодарность**

Работа выполнена в рамках работ по теме № 121031300090-2 госзадания.

**Ссылки:**

[1] Струсовская Н.Л., Матушкина Н.Н., Забегаева О.Н. Сорбционные и транспортные свойства ароматического (со) полиамида // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – Том 23. – № 5. – С. 762-771.



УДК 66 965.81

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР НА ВЯЗКОСТЬ ПВХ-ПЛАСТИЗОЛЕЙ

**Медведева Д.А., Полетаева А.Н.**

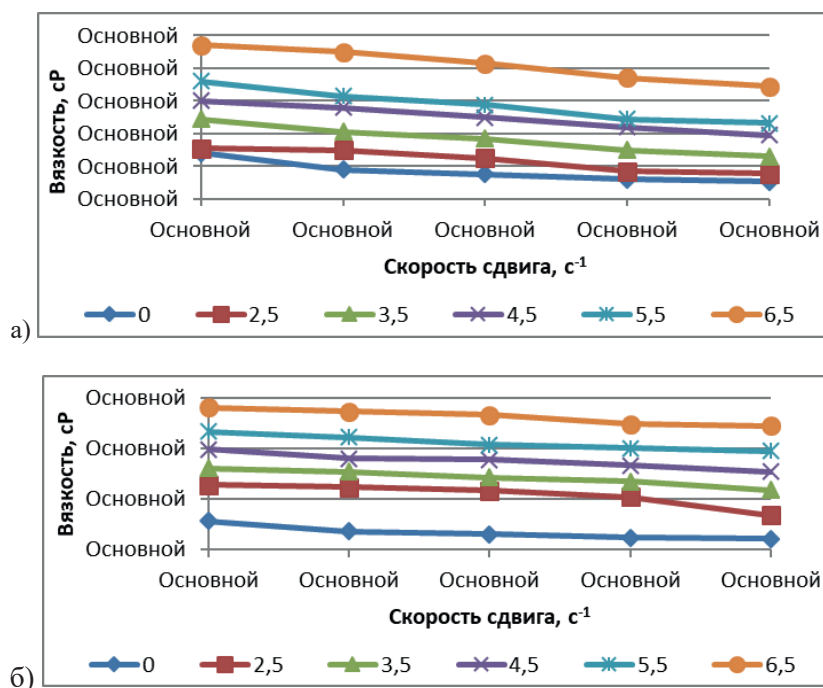
*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
г. Москва, Россия, ул. Садовническая, д.33, стр. 1  
E-mail: darinamedvedeva49@gmail.com*

Производство дисперсно-наполненных композиционных материалов из поливинилхлорида путем переработки через пластизол невозможно без контроля реологических характеристик, определяющих производительность оборудования и качество выпускаемой продукции. [1]

Цель работы – изучение влияния различных марок полимерных микросфер, применяемых в качестве наполнителя, на вязкость ПВХ-пластизолой.

В качестве объектов исследования использовали ПВХ-пластизолы на основе ПВХ-МС 372 NF, наполнители – нерасширенные микросферы на основе сополимеров акрилонитрила, метакрилонитрила и метилметакрилата марки Expancel 909DU80 и 980DU120.

Содержание микросфер варьировали от 2,5 до 6,5 масс.ч. на 100 масс.ч. полимера. Реологические характеристики определяли на ротационном вискозиметре Брукфильда серии DV-1М. На рисунках приведены значения зависимости вязкости ПВХ-пластизолой от скорости сдвига (рис. 1).



**Рисунок 1.** Зависимость вязкости пластизолой, от скорости сдвига: а) 980DU120; б)909DU80.

Установлено, что количество и марка наполнителя влияет на вязкость пластизолой. При введении микросфер 909DU80 вязкость пластизолой выше, чем при использовании наполнителя марки 980DU120 (рис. 1) и составляет 2050 сР. Также с увеличением скорости сдвига наблюдается эффект аномалии вязкости пластизолой.

### Ссылки:

[1] Нафикова Р. Ф. и др. Повышение жизнеспособности поливинилхлоридных пластизолой //Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 18. – С. 116-118.

УДК 51-73

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРКОЛЯЦИОННОГО ПРОЦЕССА В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ И УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Цобкалло Е.С., [Мещерякова Г.П.](#)

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
Санкт-Петербург, ул. Большая Морская д.18  
E-mail: mescheryakova.galina@gmail.com*

Введение в диэлектрическую полимерную матрицу дисперсных углеродных наночастиц приводит к появлению в ней непрерывной проводящей структуры имеющей фрактальный характер и являющейся случайным графом. При определенной концентрации наполнителя в композитном материале происходит фазовый переход второго рода диэлектрик – проводник, характеризующийся критической точкой. Экспериментальные данные показывают, что изменение электрического сопротивления в композитных материалах с разными полимерными матрицами при увеличении концентрации наполнителя носит  $S$ -образный характер и аппроксимируются функцией Больцмана, при этом критической точкой является точка перегиба [1]. Этот результат хорошо согласуется с результатами имитационного моделирования на конечных регулярных решетках [2]. Значения порога перколяции, полученные в результате различных случайных реализаций при имитационном моделировании, образуют область перколяционного перехода, в которой вероятность возникновения перколяционного кластера плавно меняется от нуля до единицы, аппроксимирующая функция имеет  $S$ -образный характер и является одним из вариантов функции Больцмана. Но при этом вероятность появления проводимости в узле решетки в разных моделях близка к 0,5, а область перколяционного перехода достаточно узкая. Экспериментальные данные для невытянутых пленочных нитей с полипропиленовой матрицей и наполнителями: многостенные нанотрубки и углеродные нановолокна показывают, что проводящие кластеры образуются и при малых концентрациях наполнителя [1]. Имитационная модель лучше всего описывает перколяционный процесс при наполнителе технический углерод, аспектное число которого равно единице. Для наполнителей типа углеродных нанотрубок или волокон аспектное число которых много больше единицы, можно использовать критерий появления связной компоненты введенный в теории случайных графов [3]. Пороговая вероятность возникновения связного кластера в этой модели существенно ниже.

### Ссылки

- [1] Цобкалло Е.С., Вольнова Д. В., Мещерякова Г. П. Взаимосвязь математического и структурного моделирования электропроводящих свойств композиционных пленочных нитей с изотропными и анизотропными углеродными нитями// Химические волокна. – 2020. —№ 3. – С. 8–14.
- [2] Москалев П. В. Оценки порога и мощности перколяционных кластеров на квадратных решетках с  $(1, \pi)$ -окрестность// Компьютерные исследования и моделирование. –2014. – Т. 6, № 3, С. 405–414.
- [3] Райгородский А. М. Модели случайных графов. – М.: МЦИМО, 2017. - 141 с.

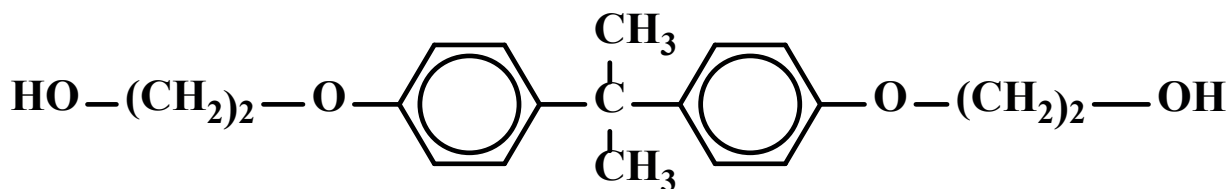
УДК 667.664

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДИИЗОЦИАНАТА НА СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ УДЛИНИТЕЛЯ ЦЕПИ АРОМАТИЧЕСКОГО ДИОЛА

Минеева Т.А., Бакирова И.Н.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
ул. К. Маркса, 68, Казань, 420015 Россия  
E-mail: bakirova-in@mail.*

Важной составляющей синтеза полиуретановых термопластов (ТПУ) является удлинитель цепи, который, взаимодействуя с диизоцианатом, формирует жесткий блок полимера. Структура и размер последнего во многом определяет свойства конечного продукта. Наиболее распространенными удлинителями цепи являются алифатические диолы, диамины и гидроксилламины. В качестве альтернативы указанным соединениям предлагается 2,2'-[пропан-2,2-диилбис(п-фениленокси)]диэтанол (ДФП-2):



ТПУ, полученные с использованием в качестве удлинителя цепи ДФП-2, названы ТПУ-ДФП-2.

Целью работы является исследование влияния природы диизоцианата на свойства ТПУ-ДФП-2.

ТПУ-ДФП-2 получали одностадийным способом, предусматривающим смешение предварительно высушенных олигобутиленадипината (ОБА) молекулярной массы 1850 и ДФП-2 с диизоцианатом. Соотношение [ОБА]/[Диизоцианат]/[ДФП-2] = 1/2÷3/1÷2/. В качестве изоцианатного компонента использовали дифенилметандиизоцианат (МДИ) и изофорондиизоцианат (ИФДИ). При этом в случае использования ИФДИ в смесь олигоэфира и диола вводили дибутилоловодилаурат по причине низкой активности циклоалифатического диизоцианата в реакции уретанообразования. Природа изоцианатного компонента и молярное соотношение исходных реагентов оказывают определяющее влияние на внешний вид и свойства полимера. Образцы на основе МДИ являются аморфными, в то время как образцы на основе ИФДИ – закристаллизованы. По значениям модуля упругости при 100% и 300% удлинениях, прочности при растяжении, относительного удлинения и твердости уретановые термопласты на основе ИФДИ при фиксированном [NCO]/[ОН] превосходят таковые, полученные с использованием МДИ. Очевидно, замена парных ароматических фрагментов в структуре ТПУ на циклоалифатические способствует улучшению ориентационной кристаллизации макромолекул при растяжении. Отсюда наблюдаемое увеличение деформационно-прочностных свойств полимера. Повышение значений твердости можно связать с возрастанием эффективной плотности сетки.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке программы академического лидерства «Приоритет 2030».

## ПРИВИТЫЕ СОПОЛИМЕРЫ КРАХМАЛА И ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛА. ПЛЁНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

**Монина А.П., Крювченкова М.С., Апрятина К.В., Смирнова Л.А., Зайцев С.Д.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23/5  
E-mail: mon.alina99@mail.ru*

Одной из основных причин ухудшения экологической обстановки в мире является загрязнение окружающей среды пластиковыми небиоразлагаемыми отходами. Наиболее эффективным способом решения этой проблемы является разработка альтернативных биоразлагаемых материалов на основе природных полимеров, среди них самым доступным и дешевым является крахмал.

Цель работы заключалась в получении сополимеров крахмала с гидроксиэтилметакрилатом (ГЭМА), пленок на их основе и изучение свойств этих материалов. Сополимеры крахмала и ГЭМА с различными массовыми соотношениями были получены путем привитой сополимеризации при условиях: рН среды 7,  $t = 4$  ч,  $T = 70-80^\circ\text{C}$ , инициатор –  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ . Конверсия мономера в каждом из синтезов составила: 39% для 1:1, 87% для 1:2 и 65,4% для 2:1. В качестве пластификаторов использовали глицерин и триэтилцитрат (ТЭЦ). Пленочные материалы на основе сополимеров крахмала и ГЭМА были получены методом полива гомогенных растворов сополимеров в ДМСО на тефлоновую подложку и высушены до полного удаления растворителя под вакуумом при  $60-70^\circ\text{C}$ . Были определены физико-механические характеристики пленок чистых и пластифицированных сополимеров (табл. 1).

**Таблица 1.** Физико-механические характеристики материалов (КР-ПГЭМА – сополимер крахмала и ГЭМА)

№	Состав	Прочность при разрыве $\sigma \pm \Delta\sigma$ , МПа	Максимальное удлинение $\varepsilon \pm \Delta\varepsilon$ , %
1	КР-ПГЭМА (1:1)	13,40± 0,03	22,8±1,2
2	КР-ПГЭМА (1:1) + 13% глицерина	18,03±0,64	3,43±0,64
3	КР-ПГЭМА (1:2)	15,4±0,9	15,6±0,1
4	КР-ПГЭМА (1:2) + 10% глицерина + 5% ТЭЦ	23,1±0,1	5,53±0,31
5	КР-ПГЭМА (2:1)	12,33±1,22	2,50±0,33
6	КР-ПГЭМА (2:1) + 10% глицерина	10,65±0,95	2,95±0,35

Наилучшими физико-механическими свойствами характеризуется пленка состава 4. Дополнительно провели исследование термомеханических, физико-химических и биоразлагаемых свойств материалов.

### Благодарность

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-13-00342.

УДК 678

## ОБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКИХ ПЕНОПОЛИИМИДОВ В РАСПЛАВЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ОЛИГОМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ АНГИДРИДНУЮ И N-АЦИЛАМИННУЮ ГРУППУ

**Мягкова Л.А., Ваганов Г.В., Елоховский В.Ю., Иванькова Е.М., Иванов А.Г.,  
Нестерова А.С., Попова Е.Н., Литвинова Л.С., Юдин В.Е., Светличный В.М.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой пр.В.О.,31  
E-mail: mila\_myagkova@mail.ru*

Высокотеплостойкие полиимиды, образующиеся в расплаве по реакции полипереацилирования диацетильных производных ароматических диаминов диангидридами ароматических тетракарбоновых кислот (ИДА) [1], могут представлять интерес для синтеза композиционных пеноматериалов. При получении полимеров ИДА в расплаве на первых стадиях реакции образуется набор олигомеров, содержащих ангидридную и N-ациламинную группу, которые используются в качестве форполимера. Эти форполимеры за счет выделяющихся летучих продуктов реакции при нагревании и высокотемпературной имидизации сопровождаются в расплаве пенообразованием, что позволяет получить пенополиимиды пористой структуры на основе коммерчески доступных мономеров, а именно: диангидрида 3,3',4,4'-дифенилоксидтетракарбоновой кислоты и 4,4'-оксидаанилина, либо 4,4'-диаминодифенилметана. Строение полученных пенополиимидов охарактеризовано с использованием метода ИК-спектроскопии. Структура пенополиимидов была исследована методом сканирующей электронной микроскопии и с помощью оптической микроскопии. Были получены пористые высокотепло- и термостойкие полиимидные материалы ( $T_g = 283-297\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_s = 532-558\text{ }^\circ\text{C}$ ).

### Благодарность

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.

### Ссылки

[1] Светличный В.М., Мягкова Л.А., Нестеров В.В., Бельникевич Н.Г., Гофман И.В., Губанова Г.Н., Юдин В.Е., Костерева Т.А., Панов Ю.Н., Григорьев А.И., Суханова Т.Е., Кудрявцев В.В. Синтез пленкообразующих полиимидов по реакции переацилирования 1,4-бис-(ацетиамидо)ариленов диангидридами тетракарбоновых кислот // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2002. – № 44(3). – С. 373-381.

УДК 544.162, 544.725.2, 544.725.7

## РАЗРАБОТКА ПОЛОВОЛОКОННЫХ МЕМБРАН ДЛЯ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

**Назаров Е.А.,** Глевицкая Т.А., Бильдюкевич А.В.

Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, ул. Сурганова, 13, 220072, Республика Беларусь  
E-mail: nazevgeny@gmail.com

Мембранные технологии являются одними из наиболее эффективных и широко распространенных подходов к решению мировой проблемы нехватки чистой и питьевой воды и очистки сточных вод. Для водоочистки и водоподготовки часто используют полволоконные (ПВ) мембраны, которые отличаются высокой эффективной фильтрующей поверхностью, высокой удельной производительностью, а также компактностью аппаратного оформления. В данной работе ПВ мембраны получали методом свободного прядения из растворов на основе смеси сополимеров акрилонитрила с различной молекулярной массой. В качестве внутреннего осадителя использовалась вода. Исследована зависимость структуры и транспортных свойств мембран от параметров формования (давления формовочного раствора, давления и температуры внутреннего осадителя). Показано, что с увеличением давления внутреннего осадителя с 0,11 до 0,2 атм при постоянном давлении полимера 1,0 атм удельная производительность мембран возрастает с 510 до 950 л/м<sup>2</sup>ч и уменьшается толщина стенок волокна. Установлено, что при постоянном значении давления внутреннего осадителя, равном 0,25 атм, увеличение давления формовочного раствора с 1,0 до 1,4 атм приводит к снижению удельной производительности мембран с 610 до 530 л/м<sup>2</sup>ч и увеличению толщины стенок. Выявлено, что повышение температуры внутреннего осадителя с 25 до 40 °С при близких значениях иных параметров формования приводит к значительному увеличению удельной производительности ПВ мембран. На основе полученных данных были разработаны опытные образцы ПВ мембран с типом фильтрации снаружи-внутри (рисунок, а, б) и изнутри-наружу (в).

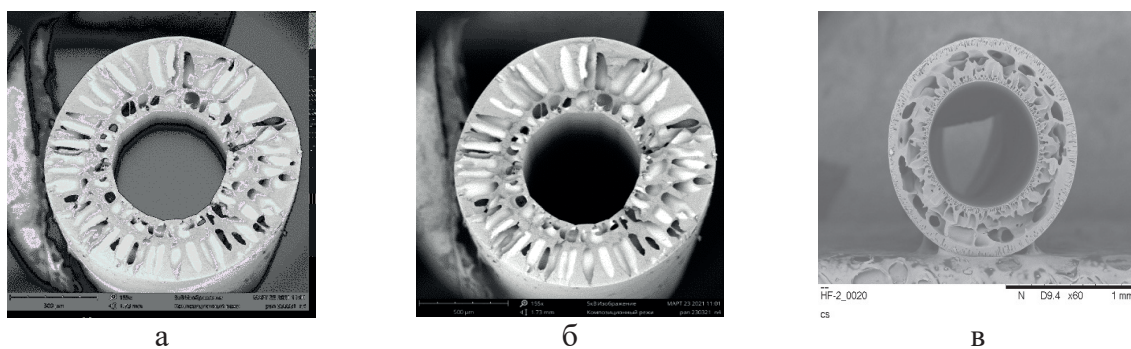


Рисунок. СЭМ-микрофотография полволоконных мембран на основе смеси сополимеров АН

### Благодарность

Исследования были выполнены при финансовой поддержке БРФФИ (проект № X23ИНДГ-010).



УДК 621.371

## СИНТЕЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И НАНОУГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ IN SITU ПОЛИМЕРИЗАЦИЕЙ

**Недорезова П.М.<sup>1</sup>, Палазник О.М.<sup>1</sup>, Шевченко В.Г.<sup>2</sup>,  
Крашенинников В.Г.<sup>1</sup>, Клямкина А.Н.<sup>1</sup>, Монахова Т.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,  
119991 Москва, ул. Косыгина, 4, polned@mail.ru*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное учреждение Институт синтетических полимерных материалов им.  
Н.С. Ениколопова РАН*

<sup>3</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение  
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН  
e-mail: polned@mail.ru*

Полимерные композиты с нанокремнеземными наполнителями обладают уникальными свойствами благодаря большой удельной поверхности, высокой электро- и теплопроводности, механической прочности углеродных наночастиц. В среде жидкого пропилена с металлоценовой каталитической системой синтезированы композиты на основе изотактического ПП с нанокремнеземными наполнителями различного типа: термически восстановленным оксидом графена (ТРОГ), многостенными (МУНТ) и одностенными углеродными нанотрубками (ОУНТ), а также бинарными смесями графеновых нанопластин и углеродных нанотрубок.

Проведен поиск оптимальных условий полимеризации, обеспечивающих высокую активность и стереорегулярность полимерной матрицы. На основании ПЭМ- и СЭМ-анализа сделан вывод, что во всех случаях наблюдается однородное распределение нанонаполнителей в полимерной матрице.

Введение небольших добавок (1-2%мас.) углеродных наполнителей в матрицу изотактического ПП приводит к заметному увеличению температуры максимальной скорости потери массы на 30-60°C по сравнению с исходным значением. Показано, что более эффективно замедляют процесс окисления полимера композиты с ОУНТ или с бинарным наполнителем ТРОГ+ОУНТ.

Пороги протекания для исследованных композитов составил для композитов на основе ТРОГ около 3 мас.%, на основе МУНТ около 2 мас.%, на основе ОУНТ и бинарных наполнителей (ТРОГ+ОУНТ) около 1,2-1,5 мас.%.

Определены коэффициенты отражения электромагнитных волн СВЧ-диапазона и показано, что введение небольших количеств углеродных наночастиц заметно уменьшает коэффициент отражения. Полученные результаты дают возможность полагать, что синтезированные материалы могут использоваться в качестве экранов и фильтров электромагнитного излучения соответствующего диапазона.

УДК:547.1'128: 621.382

## ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-ЛЕСТНИЧНОГО СИЛОКСАНОВОГО БЛОК-СОПОЛИМЕРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИЗДЕЛИЯХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

**Неёлова О.В.<sup>1</sup>, Кубалова Л.М.<sup>1</sup>, Гаглоева Д.И.<sup>1</sup>, Симеониди Д.Д.<sup>1</sup>, Бекмурзова А.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова,  
Владикавказ, ул. Ватутина, 44-46

<sup>2</sup>НПЦ АО «ЦКБ РМ» «Научно-исследовательский институт электронных материалов»,  
Владикавказ, ул. Николаева, 4  
E-mail: o.neelova2011@yandex.ru

Для разработки и создания нового поколения изделий микро- и наноэлектроники и электронной техники, обладающих стабильными электрическими параметрами и длительной работоспособностью в условиях жестких режимов эксплуатации, требуются защитные полимерные материалы, покрытия которых обладают высокими электроизоляционными, адгезионными, влагозащитными и технологическими свойствами, а также высокой эластичностью и достаточной твердостью и прочностью покрытия. Исследована возможность разработки новых кремнийорганических композиций на основе линейно-лестничных блок-сополимеров каучука марки «Термосил-УП» и пленкообразующего полимера марки «Лестосил-СМ-НТ», серийно выпускаемых ФГУП «НИИСК» (г. Санкт-Петербург), позволяющих получать термостойкие электроизоляционные эластомерные покрытия, обладающие высокими физико-механическими свойствами, длительно работающих в интервале температур от -60 до +250°C и кратковременно при температуре +300°C [1]. Результаты проведенных исследований показали, что наиболее перспективным полимером для разработки силоксановой композиции нового поколения является блок-сополимер «Лестосил-СМ-НТ», макромолекула которого состоит из жестких фенилсилсесквиоксановых  $[C_6H_5SiO_{1,5}]_n$  и эластичных одноцепочечных диметилсилоксановых звеньев  $[Si(CH_3)_2O]_m$  с концевыми гидроксильными группами. Для получения однокомпонентного состава композиция содержит раствор полидиметилборцирконсилоксана (БЦС) в триэтоксисилане, который обеспечивает отверждаемость покрытий при низких температурах (70-100°C), отсутствие коррозионного действия по отношению к алюминию и меди и высокую адгезию покрытий к кремнию и другим материалам, применяемым в технологии изготовления изделий микро- и наноэлектроники [2].

### Ссылки

[1] Neelova O.V., Kubalova L.M., Panova T.A. Polyorganosiloxane block copolymers of linear-ladder structure intended for obtaining heat-resistant protective coatings // Polymer Science. Series D. – 2022. Vol. 15, № 2. – P. 214-221.

[2] Neelova O.V., Kubalova L.M., Panova T.A., Bekmurzova A.S. A Composition Based on Linear-Ladder Siloxane Block Copolymer to Obtain Protective Coatings with High Physical and Chemical Properties// Polymer Science. Series D. – 2023. Vol. 16, № 2. P. 345–352.

УДК 541.141/141.2; 544.527; 544.032.6

## ВЛИЯНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА НА СШИВКУ ПВС ПРИ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИИ РАСТВОРА

**Некрасова Н.В., Хлебникова О.А., Суворова О.В., Павлов Ю.С.,  
Высоцкий В.В., Крот А.Д.**

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,  
119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4  
E-mail: Natalianek@yandex.ru*

Исследовалось влияние растворенного в воде кислорода на сшивку поливинилового спирта (ПВС) в растворе при  $\gamma$ -облучении. Для исследования использовались 0.2 % растворы ПВС в деионизированной воде (рН 5.5). Часть образцов запаивалась в ампулы без предварительной обработки, другая часть образцов предварительно продувалась аргоном для удаления кислорода, после чего также запаивалась в ампулы. Образцы в ампулах подвергались  $\gamma$ -облучению дозой 20 кГр.

Визуально в продутом аргоном растворе после облучения образовывалась полупрозрачная белая фаза. Данные ДСР показывают, что в после облучения в продутом аргоном образце заметно увеличивается дисперсность системы по сравнению с непродутым и необлученным растворами, средний диаметр частиц возрастает с 6 до 9.5 нм.

Данные ИК-спектроскопии указывают на возникновение в продутом облученном образце двойной  $>C=C<$  связи ( $1589\text{ см}^{-1}$ ). В то же время исчезает полоса  $1710\text{ см}^{-1}$ , которая характерна для непродутого облученного образца и свидетельствует об образовании карбонильной  $C=O$  группы, одного из продуктов радикального окисления ПВС [1].

Предполагается, что на процессы, происходящие при облучении, оказывает влияние озон, образующийся при радиоллизе как растворенного в воде кислорода и являющийся инициатором радикальных реакций в растворе [2-4].

Поскольку при облучении данной системы происходит как радикальная сшивка, так и деструкция полимера, то мы можем предположить, что при наличии кислорода в растворе превалирует именно деструкция [5].

### Ссылки

- [1]. Ю.С. Зимин, А.Ф. Агева, И.Ф. Шамсетдинова, И.М. Борисов, Ю.Б. Монаков. Кинетика и механизм окисления ПВС под действием перекиси водорода // Башкирский химический журнал, 2006, т. 13 №1, стр. 118
- [2]. G. Ya. Gerasimov. Radiation-Chemical Formation of Ozone in an Oxygen-Containing Gas Atmosphere // High Energy Chemistry, Vol. 38, No. 2, 2004, pp. 75–80
- [3]. Г.В. Егорова, В.А. Вобликова, Л.В. Сабитова, И.С. Ткаченко, С.Н. Ткаченко, В.В. Лунин. О растворимости озона в воде // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2015. Т 56. № 5
- [4]. Валиева А.Ф. Кинетика и механизм окисления поливинилового спирта в водной среде. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук, Уфа, 2007.
- [5]. А.Д. Гришина, Исследование методом э.п.р. первичных радикальных продуктов радиоллиза поливинилового спирта // Докл. АН СССР, 1963, том 150, номер 4, 809–812

УДК 547.663

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНОГО БЕНЗОЦИКЛОБУТЕНА

**Осипов Р.Ю.<sup>1</sup>, Адамов Г.Е.<sup>2</sup>, Шмелин П.С.<sup>2</sup>, Кильдеева Н.Р.<sup>1</sup>,**

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

<sup>2</sup> *АО «Центральный научно-исследовательский технологический институт ТЕХНОМАШ», Россия, Москва*

*E-mail: rafael.osipov@inbox.ru, kildeeva@mail.ru, pshmelin@yandex.ru*

В настоящее время на территории Российской Федерации отсутствует производство фольгированных диэлектриков для высокопроизводительных вычислительных систем, эксплуатируемых в средневолновом и СВЧ диапазонах. Одними из наиболее перспективных диэлектриков для СВЧ-электроники являются производные бензоциклобутена, которые обладают низкой диэлектрической постоянной, высокой термической стабильностью (до 350-500 °С).

Целью настоящей работы являлось получение и исследование бензоциклобутен-содержащего полимерного связующего, а также экспериментальных образцов препрегов и стеклотекстолитов на его основе.

На первом этапе работы был получен полимер (3), схема синтеза которого приведена на рисунке 1. Полимеризация осуществлялась по ионному механизму в присутствии бутиллития.

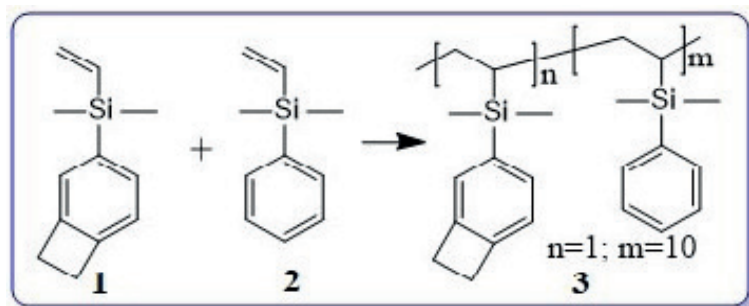


Рисунок 1. Схема получения полимерного связующего

Для получения препрегов использовали стеклоткань марки 1080, которую пропитывали 30% раствором синтезированного полимера в мезитиле. Содержание смолы после пропитки составляло 53-60%. Для получения стеклотекстолитов изготовленные препреги складывали в стопку и спекали под давлением при многоступенчатом температурном режиме (от 80 до 200 °С).

Диэлектрические характеристики стеклотекстолитов измеряли на анализаторе Agilent E4992A Material Analyzer с использованием измерительной оснастки Agilent 16453A при частоте 1 ГГц. Получены материалы с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=3,307$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta=6,4\cdot 10^{-4}$ .

Свойства разработанных стеклотекстолитов определяют перспективы их использования для изготовления печатных плат СВЧ диапазона.

УДК 542.06

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА, ПОЛУЧЕННОГО ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГИДРОКСИДА ТЕТРАЭТИЛАММОНИЯ

**Подвальная Ю.В., Тарасов А.Е., Грищук А.А., Бадамшина Э.Р.**

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
пр-кт акад. Семенова, д.1, г. Черноголовка, Московская обл., 142432  
E-mail: podvalnaya\_yv@icp.ac.ru*

Одной из важнейших задач химии высокомолекулярных соединений является синтез полимеров заданной структуры и с заданным комплексом свойств. Ключевая роль в решении этой задачи отводится поиску катализаторов в сочетании с подбором условий реакции для получения полимеров различной молекулярной архитектуры, в том числе полиакрилонитрила (ПАН). ПАН преимущественно линейного, реже разветвленного строения в основном используется в качестве сырья для обширного спектра волокон, в том числе углеродных.

Одним из методов получения ПАН регулируемого строения является анионная полимеризация акрилонитрила (АН). В работе впервые установлено, что гидроксид тетраэтиламмония (ТЭАГ) инициирует анионную полимеризацию АН в среде диметилсульфоксида (ДМСО). Показано, что в зависимости от условий реакции полученные полимеры характеризовались широким интервалом молекулярных масс (от нескольких тысяч до миллиона) и различной степенью разветвления (от разветвленного до сверхразветвленного строения) (таблица 1).

**Таблица 1.** ПАН, полученные в присутствии ТЭАГ.  $C_{АН} = 5,0$  моль·л<sup>-1</sup>, растворитель ДМСО, T = 22 °C

№	$C_{ТЭАГ}$ , моль·л <sup>-1</sup>	DB±0,04	Конверсия**, %	$M_n$	$M_w$	$M_w/M_n$
1	0,005	0,21	89,0	1 800 000	3 940 000	2,35
2	0,012	0,33	62,2	487 000	1 340 000	2,75
3	0,025	0,51	41,2	39 000	123 000	3,15

\*DB, degree of branches - оценочные значения средней степени разветвления, определены по формуле  $DB = 2R/(2R+L)$ , где R – площадь сигналов  $CH_2$ -группы (2,68 м.д.) в разветвленных звеньях АН, а L – площадь сигналов  $CH$ -группы (3,15 м.д.) в линейных звеньях АН (рассчитано на основании ЯМР-спектров). Для сверхразветвленных полимеров  $DB \sim 0,33$ .

\*\*за 20 часов

Изучение термического поведение полученных ПАН, а также исследование реологических свойств его 20%-ых растворов в ДМСО позволило установить, что с использованием ТЭАГ возможно получение полимеров, обладающих волокнообразующими свойствами, несмотря на их разветвленное строение (образец 1, таблица 1).

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания №№ (FFSG-2024-0007), регистрационный номер 124013000722-8.

УДК: 691.175.3

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

Подложнюк Н.Д.<sup>1</sup>, Возняковский А.А.<sup>1</sup>, Возняковский А.П.<sup>2</sup>,  
Кидалов С.В.<sup>1</sup> Овчинников Е. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБП НИИСК, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, РБ

E-mail: podloznuknikita@gmail.com

Улучшение эксплуатационных свойств конструкционных материалов всегда является актуальной задачей. Эпоксидные смолы применяются при изготовлении стекло- и углепластиков, которые в свою очередь используются в авто- и авиапромышленности. Одним из возможных путей модификации эпоксидных смол является использование различных нанокремниевых материалов в качестве наполнителей. Их добавление в может приводить к увеличению прочности на изгиб и на разрыв, увеличению тепло- и электропроводности. Однако использование кремниевых наноматериалов до сих пор ограничивается сложностью и малопродуктивностью методик синтеза.

В данной работе для модификации эпоксидной смолы ЭД-20 был использован малослойный графен, полученный методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [1]. Данный метод позволяет получать большие объемы МГ не содержащего в своей структуре дефекты Стоуна-Уэальса [2] из биополимеров циклического строения, при этом сам синтез протекает в одну стадию и не требует больших затрат энергии.

В ходе работы удалось увеличить прочность на изгиб исходной смолы на 70 % при введении 0,1 масс.% малослойного графена. При этом прочность на сжатие практически не изменилась. Увеличение плотности составило менее 1 %.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-79-10254

### Ссылки

[1] A.P. Voznyakovskii, A.A. Vozniakovskii, S.V. Kidalov // Nanomaterials. – 2022. – Vol. 12, № 4. – P. 657.

[2] A.P. Voznyakovskii, A.A. Neverovskaya, A.A. Vozniakovskii, S.V. Kidalov // Nanomaterials. – 2022. – Vol. 12, № 5. – P. 883.



УДК

## МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ПРОДУКТАМИ ПОЛИФТОРАЛКИЛИРОВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНОВ

**Полицимако И.А., Кудашев С.В.**

*Волгоградский государственный технический университет  
(кафедра «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности»),  
400005, г. Волгоград, пр. имени Ленина, 28  
E-mail: igorpolitsimako@mail.ru*

Эластичные полиуретаны широко используются в различных отраслях благодаря их уникальным свойствам, таким как высокая эластичность, прочность и износостойкость. Они находят применение в автомобильной промышленности для изготовления амортизаторов и уплотнений, в строительстве для создания водонепроницаемых покрытий и герметиков, а также в медицинской сфере для производства мягких протезов и бандажей.

В современном мире разработка новых материалов с улучшенными свойствами является актуальной задачей в различных отраслях промышленности. В контексте этой проблемы, наше исследование направлено на модификацию полиуретановых эластомеров продуктами полифторалкилирования полиэтиленполиаминов (ПЭПА). Внедрение полифторированных групп в структуру полимеров является новым и перспективным подходом в области синтеза полимеров и обладает значительным потенциалом для создания материалов с улучшенными характеристиками.

Мы предлагаем инновационные методы синтеза, основанные на взаимодействии полиуретановых эластомеров продуктами полифторалкилирования полиэтиленполиаминов (ПЭПА). Эти методы отличаются от традиционных и предлагают новые пути для модификации полиуретанов с целью улучшения их свойств. В рамках исследования мы также исследуем реакции взаимодействия полифторированных спиртов с полиуретанами, с использованием различных методов анализа, включая спектроскопию и хроматографию.

Практическая значимость исследования заключается в создании новых материалов с улучшенными характеристиками, такими как устойчивость к теплу, химическая стойкость, механическая прочность и другие. Эти материалы могут найти применение в различных отраслях, включая автомобильную промышленность, строительство, электронику и другие. Наше исследование открывает новые перспективы для создания инновационных материалов, способствуя развитию промышленности и обеспечивая решение актуальных задач.

УДК 544.77.051.13+691.175

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПИРТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ПЕНООБРАЗУЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ И ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

**Полотнянщиков К.С., Светличный В.М., Ваганов Г.В., Иванов А.Г, Юдин В.Е.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О. 31  
E-mail: konstantin.polotn@gmail.com*

Полиимидные пеноматериалы обладают ценным комплексом свойств: огнестойкостью, криостойкостью, низкой теплопроводностью, химической стабильностью и низкой плотностью [1]. Известны различные методы получения вспененных полиимидов [2], среди которых основное внимание уделяется термическому вспениванию приготавливаемых пенообразующих композиций. Интерес вызывает способ синтеза пенообразующих композиций на основе диэфиров тетракарбоновых кислот, который предполагает образование стабильного форполимерного продукта при взаимодействии диэфиров с диаминами в спиртовом растворе [2]. При этом синтезы форполимеров могут осуществляться в различных спиртах, что должно оказывать влияние на свойства получаемых пеноматериалов, однако в литературе отсутствуют такие сведения. В работе проведен синтез пенообразующих форполимеров основе диангирида 3,3',4,4'-бензофенонтetraкарбоновой кислоты и 4,4'-диаминодифенилоксида (в метиловом, этиловом и изопропиловом спиртах) и пенополиимидов на их основе. Показано, что использование различных спиртов при получении диэфиров влияет на свойства образующихся пенополиимидов: использование ряда метанол-этанол-изопропанол приводит к снижению плотности материала (от 9,15 до 7,41 кг/м<sup>3</sup>), а также оказывает влияние на их механические свойства. Наиболее эластичным является материал, полученный в этаноле (17,5% - деформация при разрушении, модуль упругости – 39 кПа), наиболее жестким – в метаноле (11,0% - деформация при разрушении, модуль упругости – 130 кПа). Таким образом использование метанола приводит к образованию жесткого пеноматериала, а этанола - более эластичного.

### Благодарность

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.

### Ссылки

- 1] Ye, W. 3D Printing of Continuous Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Polyimide / W. Ye, G. Lin, W. Wu, P. Geng, X. Hu, Z. Gao, J. Zhao // Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. – 2019. Vol. 121. – P. 457-464.
- [2] Gu, W. Polyimide-based foams: fabrication and multifunctional applications / W. Gu, G. Wang, M. Zhou, T. Zhang, G. Ji // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2020. Vol. 12, № 43. – P. 48246-48258.

УДК 691.175.2

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ В ВИДЕ МАСТЕРБАТЧА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Прокофьев И.Г., Коваленко Г. М.**

*Российский государственный университет (Технологии. Дизайн. Искусство)  
117997 Москва Садовническая ул. д.33 стр. 1.  
E-mail: iznorilska@yandex.ru*

Актуальным направлением развития современной химии и технологии полимеров является их модификация путем введения функциональных добавок, произведенных в виде мастербатчей. Мастербатч – это полимерный композиционный материал (ПКМ), гранулированный суперконцентрат различных действующих веществ в различных пропорциях, связанных полимером-носителем. Для снижения пожароопасности электроизоляционных материалов производятся специальные добавки для полимеров в виде мастербатчей, наполненных замедлителями горения - антипиренами. Комплекс наполнителей из антипиренов может различаться химической природой, молекулярной массой, дисперсностью. Правильно подобранный состав антипиренов, а также дозировка мастербатча в готовое изделие позволяет получить негорючий электроизоляционный материал с низким дымовыделением, высокими техническими параметрами и относительно дешевой стоимостью. Существует несколько типов замедлителей горения, из которых наиболее распространены:

1. галогенсодержащие, хлорорганические или броморганические соединения, которые затрудняют свободнорадикальный механизм развития цепи в газовой фазе, повышая тем самым огнестойкость;
2. фосфорсодержащие, способствующие образованию защитных карбонизированных структур на поверхности полимера, что сокращает выделение горючих продуктов пиролиза;
3. гидроксиды металлов, оказывающие ингибирующее действие на воспламенение за счет эндотермического разложения на оксиды и водяной пар.

Тенденции в области экологии обращают внимание на уход от использования галогенсодержащих компонентов. На базе предприятия ООО «Полистом» нами были разработаны рецепты ПКМ с различным составом и содержанием антипиреновых наполнителей на основе фосфатов и гидроксидов металлов. В качестве синергетического компонента вводился борат цинка, препятствующий воздействию прямого огня на электроизоляционный материал и способствующий контролю повышения температуры. Нами определено оптимальное соотношение компонентов в композиции, доказана эффективность полученных мастербатчей на соответствие стандарту UL 94, принятому для электронной и электротехнической промышленности. Термостабильность получаемых композиций исследовалась с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии. В качестве термостабилизатора использовали фосфитный антиоксидант, который также усиливал синергетический эффект полученных полимерных композитов.

УДК 544.77.052

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СУСПЕНЗИЙ,  
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПЛЮРОНИКОМ PPE3110****Романенко Г.А.<sup>1</sup>, Ковтун И.Д.<sup>2</sup>, Шульгин А.М.<sup>1</sup>, Короткий В.И.<sup>1</sup>,  
Грицкова И.А.<sup>1</sup>, Львовский А.И.<sup>1</sup>.**<sup>1</sup> МИРЭА – РТУ, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78<sup>2</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН,  
г. Москва, ул. Профсоюзная, Д.70.E-mail: [germanromanenko@rambler.ru](mailto:germanromanenko@rambler.ru)

При исследовании полимеризации акриловых мономеров в присутствии нерастворимого в воде оксиэтилированного плуроника PPE-3110 было показано, что можно получить устойчивые полимерные суспензии с высоким содержанием полимера. Данный метод дает возможность создания экологически чистых способов синтеза полимерных суспензий. Устойчивые полимерные суспензии образуются за счет формирования прочного межфазного слоя ПАВ и полимера, несовместимого с ПАВ, образующегося в процессе полимеризации. Можно предположить, что такие суспензии стабильны при различных воздействиях, которые могут возникнуть в процессе применения, однако в литературе нет данных об этих исследованиях. Поэтому в ходе настоящей работы была изучена устойчивость полимерных суспензий при замораживании-оттаивании, воздействии высоких температур и электролитов. Было показано, что полученные полимерные суспензии сохраняют устойчивость до 80°C, однако при дальнейшем повышении температуры происходит дегидратация оксиэтиленовых цепей плуроника, которая приводит к частичной агломерации частиц.

В ходе исследований было установлено, что при добавлении к суспензии электролита (NaCl) происходит флокуляция частиц вследствие снижения их устойчивости из-за дегидратации, начиная с концентрации 0,5M NaCl. Исследуемые суспензии оказались неустойчивыми к пониженным температурам (воздействию жидкого азота), наблюдалась полная коагуляция системы.

Данные результаты позволили сформулировать условия возможности применения полученных полимерных суспензий.

УДК544.777

## ПОЛИМЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ ЯДРО/ОБОЛОЧКА НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТА, СОДЕРЖАЩИЕ В ЯДРЕ ДИСПЕРСНЫЙ КРАСИТЕЛЬ

**Романов А.А., Шевченко Н.Н.**

*Институт высокомолекулярных соединения Российской академии наук  
г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31  
E-mail: romanov@bars2.com*

Цветной скотч — это универсальный вид упаковочного материала, который используется для цветовой маркировки различных видов товаров хранимых в коробках. Одним из перспективных направлений использования цветных видов скотча является его применение в качестве индикатора открытия коробки. Цветные скотчи производят на основе биаксиально-ориентированной полипропиленовой пленки (БОПП). В качестве клеевой основы используют акриловый клей марки ПТ-55. Акриловый клей марки ПТ-55 (сополимеры на основе бутилакрилата и акриловой кислоты) - обеспечивает хорошую адгезию, долговечность клеевых соединений. Для придания цвета при производстве скотча на БОПП пленку наносят акриловый клей, смешанный с пигментной пастой.

Одним из недостатков существующих пигментных паст является невозможность ввести в их состав более 20% пигмента. Увеличение массовой концентрации пигмента приводит к его агрегации, увеличение вязкости пасты, в результате нарушается однородность окрашенных скотчей. Кроме того, смешение пигментных паст с клеем приводит к сильному ухудшению адгезионных свойств клея.

В работе исследован метод эмульсионной полимеризации с целью синтеза частиц ядро/оболочка, содержащих в ядре дисперсный краситель. Синтезированные частицы, а также полимерные композиты на их основе исследованы физико-химическими методами анализа: ИК-спектроскопия, исследование динамической вязкости и седиментационной стойкости, а также размера частиц. Кроме того, прослежено влияние метода синтеза частиц ядро/оболочка на пилинговую адгезию полипропиленовых пленок.

УДК 677.076.4

## ПОЛИСУЛЬФОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЕПАРАТОРОВ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

**Романова Ю.С.<sup>1</sup>, Бокова Е.С.<sup>1</sup>, Смульская М.А.<sup>2</sup>, Филатов И.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> РГУ им. А.Н. Косыгина, 115035, г. Москва, ул. Садовническая, 33

<sup>2</sup> ООО «Технологии электроформования», 19331, г. Москва, пр-кт Вернадского, д. 29

E-mail: romanova.julia87@yandex.ru, bokova-es@rguk.ru,

filatov@electrospinning.ru, solveyg-s@yandex.ru

Современное развитие беспроводных технологий, повсеместная интеграция электронных гаджетов и переход на электромобили указывают на стремительный рост потребления мобильной электроэнергии, в связи с чем возникает потребность в высоко ёмких аккумуляторах, эффективность работы которых во многом определяется свойствами сепаратора – пористой мембраны, в качестве которой в России традиционно используют нетканые материалы типа фильтров Петрянова (ФП), полученные методом электроформования волокон (ЭФВ).

Цель работы – разработка сепарационного материала для щелочных аккумуляторов на основе полисульфонов.

В работе предложены научно-обоснованные технологические решения по разработке нетканых сепараторов для щелочных аккумуляторов, в основе которых: пректирование многослойных пакетов, сочетающих слои на основе микро и нановолокон; замена дефицитного перхлорвинила и не достаточно щелочестойкого хлорированного полиэтилена на полисульфон; разработка прядильных композиций и обоснование технологических параметров их переработки в волокнистый материалы методами электрогидродинамического и электроаэродинамического формования; применение нового метода постобработки полуфабриката сепарационного материала, содержащего остаточный растворитель (3-5% об), методом каландрования с в основе которого «подрастворением» остаточным растворителем волокон в местах контакта друг с другом, а также использование давления рифленых валов каландра для скрепления слоев материала между собой.

Установлено, что для обеспечения наибольшей емкости конденсатора необходим трехслойный композиционный материал, состоящий из двух наружных слоев со средним диаметром волокон 1,4 мкм и поверхностной плотностью 11 г/м<sup>2</sup> и внутреннего слоя из волокон со средним диаметром 0,4 мкм, поверхностной плотностью 6 г/м<sup>2</sup>. Апробация разработанного материала в ходе эксплуатационных испытаний в составе электрохимической ячейки в НИИХИТ (АО) показала, что впитываемость электролита составляет 150-290%, электросопротивление - 0,032-0,036 Ом×см<sup>2</sup>, потеря массы 1.5 %.



УДК 678.021

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УЗКОЙ ФРАКЦИИ МИКРОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ SiO<sub>2</sub>

**Савицкая Ю.А., Косарева А.В., 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, ул. Малая Пироговская, 1с5  
E-mail: juli.ska@mail.ru*

Дисперсно-наполненные полимерные композиционные материалы (ДНПКМ) получили широкое распространение в связи с возможностью достижения уникальных свойств путем введения наполнителей.

Промышленные марки дисперсных микро наполнителей ( $d_{cp} = 1,0-10$  мкм) чаще всего обладают широким распределением и могут достигать размеров до 80 мкм. Однако, как показано в работе [1] для повышения прочностных характеристик оптимально использовать наполнители размером 0,5-5 мкм. Таким образом, актуальным является вопрос получения узких фракций дисперсных частиц.

Цель работы заключается в разработке технологии получения узких фракций твердых дисперсных частиц микро размеров (1-3 мкм) на основе диоксида кремния.

Для получения наполнителей с узким распределением по размерам чаще всего применяют два метода: седиментацию и механическое диспергирование. Седиментация твёрдых частиц в гравитационном поле основана на зависимости скорости оседания в жидкости от их размера. Для механического диспергирования могут быть использованы шаровые мельницы, которые позволяют фракционировать материалы путем механического воздействия

В качестве объекта исследования была выбрана тонкомолотая кварцевая мука SIKRON марки SF800 с  $d_{cp} = 2$  мкм (ООО «Кварцверке Ульяновск», Россия). Процесс седиментации осуществляли в дистиллированной воде. Процесс диспергирования проводился в мельнице шаровой лабораторной марки S-4834 (iMold, Россия).

Установлено, что время седиментации, необходимое для получения частиц SiO<sub>2</sub> размером от 1 до 3 мкм в емкости объемом 19 л составило 3 часа 30 минут. Получены кривые распределения фракций, полученных методами седиментации и механического диспергирования.

Показано что для получения узкой фракции в диапазоне 1-3 мкм более эффективным методом является седиментация.

### Ссылки

[1] Харламова К. И. Оптимизация размеров частиц и параметров структуры для получения дисперсно-наполненных полимерных композитов с максимальной прочностью / К. И. Харламова, Л. Д. Селезнева, И. Д. Симонов-Емельянов // Пластические массы. - 2020. - № 9-10. - С. 13-18.

УДК 691.175.664: 661.185

## ИЗМЕНЕНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕСТКИХ БЛОКОВ ПОЛИУРЕТАНМОЧЕВИННЫХ ПЛЕНОК ПРИ МОДИФИКАЦИИ ИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

**Савчук А.В., Сеничев В.Ю.**

*«ИТХ УрО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь, ул. Академика Королева д.3  
ataraksa@mail.ru*

Эластомеры на основе полиуретанмочевин (ПУМ) — это универсальные материалы, с возможностью применения, в различных областях промышленности, в том числе для строительных очков. ПУМ представляют собой полимеры, состоящие из чередующихся гибких и жестких блоков. Разность в полярности образованных блоков приводит к фазовому разделению, что, в свою очередь, способствует созданию условий, при которых агломераты жестких блоков при достаточной величине будут способны рассеивать падающий свет. Таким образом, снижение прозрачности защитных пленок по причине наличия фазового разделения в пленках ограничивает использование материалов на основе ПУМ в качестве защитных покрытий для строительных очков. Ранее было установлено, что использование алифатических диизоцианатов позволяет снизить фазовое разделение и добиться прозрачности получаемых пленок. Следует отметить, что при эксплуатации пленок в качестве защитного покрытия для очков может возникнуть эффект запотевания, и для предотвращения данного процесса используют поверхностно активные вещества ПАВ. Однако, они могут обладать пластифицирующим действием, что может привести к изменению фазовой организации в ПУМ пленках.

ПУМ синтезировали с использованием полидиэтиленгликольадипината с молекулярной массой 800 г/моль, 4,4'-диизоцианатодигликольтетраметана (ГМДИ), 3,3-дихлор-4,4-диаминодифенилметан и в качестве растворителей использовали смесь ацетона, этилацетата, толуола и метилэтилкетона. В качестве ПАВ были выбраны неионогенные, неолон 9-12, неолон 9-10, АФ-9-25 и АЛМ-7 и АЛМ-10 (содержание ПАВ 2,5-10 масс.%).

Анализ ИК-спектров полученных пленок показал, что для образцов, немодифицированных ПАВ, характерно образование малоупорядоченных структур с неравномерными по своей длине жесткими блоками. Полученные пленки на основе ГМДИ обладали достаточным уровнем прозрачности. При вводе ПАВ происходит изменение интенсивности полос поглощения в области колебаний карбонила уретановых и мочевиновых групп ( $1740-1620 \text{ см}^{-1}$ ). Было установлено, что использование ПАВ привело к увеличению интенсивности пика при  $1730 \text{ см}^{-1}$ , который характерен для полосы Амид I, относимой к водородным связям между жестким уретановым блоком и кислородом олигоэфира [1]. Данный эффект можно связать с образованием дополнительных водородных связей за счет атомов кислорода в молекулах ПАВ. Следует отметить, что прозрачность модифицированных ПУМ пленок сохранилась на необходимом уровне.

### Ссылки

[1] Жарков В. В., и др. // ВМС Серия А. – 1992. – Т. 34. – №. 5. – С. 142-147.

УДК 541.123.546.2183

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРОВ В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА

**Саид-Галиев Э.Е.<sup>1,2</sup>, Нысенко З.Н.<sup>2</sup>, Сахаров А.М.<sup>2</sup>, Хохлов А.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Вавилова, 28*

<sup>2</sup> *Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Ленинский просп., 47*

*E-mail:ernest@ineos.ac.ru*

Закономерности и особенности модификации полимеров с использованием сверхкритического диоксида углерода (СК СО<sub>2</sub>) – основной реакционной среды в «зеленой химии», определяются его специфическими свойствами и условиями эксперимента: температурой и давлением, варьируя которые, можно эти свойства изменять. Модификация достигается воздействием как чистого СК СО<sub>2</sub>, так и растворенных в нем функциональных добавок (ФД). Экспозиция в чистом СК СО<sub>2</sub> вызывает следующие эффекты в полимерах: сорбцию, пластификацию, аморфизацию/кристаллизацию, набухание, растворение, порообразование. В качестве

ФД выступают заряженные и нейтральные nano частицы переходных металлов, БАВ – лекарственные вещества, красители, мономеры, растворимые в СК среде.

В докладе показано, что растворяющая способность СК СО<sub>2</sub> по отношению к полярным соединениям еще ниже, чем у н-гексана. Отсутствие поверхностного натяжения позволило разработать аэрогели, пористые наноматериалы с большой площадью поверхности, заключительная стадия получения которых – декомпрессия для сохранения пористой структуры проводится в СК СО<sub>2</sub>. Используя свойства СК СО<sub>2</sub> как пластификатора и порогена, разработан уникальный материал для медицинской трибологии – nano пористый СВМПЭ с коэффициентом трения, равным таковому для природного хряща в суставе (0.04-0.06). Наиболее яркие отличия от реакций в органических растворителях – влияние состояния среды в окрестностях критической точки флюида на конформацию макромолекулы в растворе (фазовый переход «клубок-глобула-клубок») и кинетика импрегнации ФД (металлоорганических комплексов), включающая как фиковскую, так и аномальную диффузию. Импрегнация полимеров металлоорганическими комплексами иллюстрируется кинетическими моделями и обсуждается на примерах «безынозных», бактерицидных материалов и полимерных фунгицидов, а также на полимерных композитах с лекарственным веществом, красителем и гибридных композитах.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

УДК 678

## РАЗРАБОТКА ДИЛАТАНТНЫХ ПОЛИРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХИМИКО–МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАНАРИЗАЦИИ

**Самаркин В.А., Бокова Е.С., Евсюкова Н.В.**

*РГУ им. А.Н. Косыгина, 115035, г. Москва, ул. Садовническая, 33  
E-mail: vova.sam.2021@mail.ru, bokova-es@rguk.ru, evsyukova-nv@rguk.ru*

Сегодня остро стоит вопрос изготовления интегральных схем и микрочипов высокой степени планарности. Для выравнивания поверхности диэлектрических слоев полупроводниковых пластин используют разные методы, одним из которых является метод химико-механической планаризации (ХМП), сочетающий в себе химическое и механическое воздействие на полируемый материал и обеспечивает высокую степень его выравнивания.

Эффективность процесса ХМП определяется рядом факторов: структурой и свойствами полировальных материалов, видом и характеристиками полирующей суспензии, а также параметрами процесса обработки - давлением и скоростью полировки. Жесткие полировальные материалы обеспечивают быстрый съем диэлектрика и эффективную планаризацию, оставляя при этом на полируемой поверхности дефекты в виде царапин. Мягкие полировальные материалы обладают меньшей планаризирующей способностью, но позволяют нивелировать возможные дефекты. Таким образом, в процессе ХМП очень часто применяют двухступенчатый процесс обработки, заменяя жесткие полировальные диски на мягкие.

Цель работы – разработка универсальных полировальных материалов для процесса ХМП, сочетающих в себе преимущества жестких и мягких полировальных дисков.

Полировальные материалы изготавливали на основе растворов полиэфируретанов (ПЭУ), наполненных абразивным наполнителем  $\text{SiO}_2$  и полыми микросферами (до 20 об.ч на 100 мас. ч. Полимера). Процесс структурообразования ПЭУ проводили методом фазового разделения полимера в среде осадителя. Полировальные материалы получали в двух вариантах – методом пропитки нетканых материалов и методом пропитки с последующим нанесением лицевого покрытия.

Процесс ХМП кремниевых пластин со слоями диэлектрика проводили на установке Speed Fam Auriga, с использованием суспензии марки Klebosol 30m50. Количество удаляемого материала определяли по потере веса полировальных пластин с помощью микровесов (Shimadze AW220D, минимальная шкала - 0,01 мг).

Установлено, что материалы в процессе ХМП проявляют свойства дилатансии и при низких скоростях процесса ведут себя как мягкие материалы, а при увеличении проявляют свойства жестких. Таким образом появляется возможность варьирования условий обработки для каждой стадии процесса, т.е. применять средние и высокие скорости полировки для увеличения скорости планаризации и низкие для получения плоских бездефектных профилей.

УДК 678.664.074

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИТЬЕВЫХ НЕКРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ ПОЛИУРЕТАНОВ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

**Сафиуллина Т.Р., Данилов Н.С., Кучин Д.О., Табачков А.А.**

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, ул. К. Маркса, 68  
E-mail: safiullina.tr@gmail.com*

Целью работы являлась разработка эластомерной составляющей комплекта для ремонта трубопроводов без остановки его эксплуатации по типу STOPKIT Временный.

Разрабатываемый материал должен обладать рядом свойств, указанных в [1]. Этим требованиям отвечают уретановые эластомеры, получаемые на основе простых полиэфиров. Стойкость их к гидролизу намного выше, чем у эластомеров на основе сложных полиэфиров. При этом уретановые эластомеры на основе простых полиэфиров можно синтезировать холодным способом при температуре окружающей среды 20-25 °С, что позволяет использовать двухкомпонентные системы при ремонте трубопроводов в полевых условиях.

В работе синтезирован компонент Б (КомБ) с различным содержанием NCO-групп (16.39, 18.1, 20,44%мас.) и уретановые эластомеры на его основе с использованием отечественного сырья – Лапролов 3003, 4003, 5003. Предложена рецептура синтеза ЛПУ с использованием катализатора ДБДЛО. По результатам физико-механических испытаний выявлено, что наилучшими прочностными свойствами обладают ЛПУ на основе КомБ-Л4003 и Лапрола 5003 в массовом соотношении с Лапролом 373 40/10. Преимуществом такого типа ЛПУ является их холодное отверждение.

ИК-спектрометрически исследована химическая структура синтезированных ПУ. Установлено, что образцы имеют одинаковое химическое строение, так как смещения основных полос поглощения в спектрах не наблюдаются. Идентифицированы полосы поглощения уретановой связи (валентные колебания ассоциированной группы N-H (Амид А) 3334 см<sup>-1</sup>, валентные колебания группы C=O (Амид I) 1724 см<sup>-1</sup>, деформационные колебания группы N-H (Амид II) 1536 см<sup>-1</sup>, а также валентные колебания простых эфирных групп C-O-C 1088 см<sup>-1</sup>.

Методами ТГА и ДСК исследована термостойкость ЛПУ. Отсутствие на кривых ДСК ярко выраженных пиков свидетельствует о незначительных тепловых эффектах фазовых переходов всех образцов, что характеризует их как некристаллизующиеся полимеры. Предложена блок-схема производства ЛПУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта в форме субсидий программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 года.

### Ссылки

[1] <https://nt-tools.ru/files/STOPKIT-2016.pdf>

УДК 547-327:539.424

## НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ ТЕРМОФОРМУЕМЫЕ ПОЛИ(МЕТ) АКРИЛИМИДНЫЕ ПЕНОПЛАСТЫ

**Сафонов А.Н.<sup>1,2</sup>, Шалагинова И.А.<sup>1</sup>, Корниенко П.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Научно-исследовательский институт химии и технологии полимеров имени академика В.А. Каргина с опытным заводом, Дзержинск, 606000*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, 603022, пр. Гагарина, д. 23  
E-mail: safonov@nicp.ru*

Второе десятилетие XXI века было ознаменовано развитием нового направления в отечественной полимерной науке, а именно разработкой научно-технических основ получения термостойких конструкционных пенопластов на основе (мет)акриловых сополимеров. Результатом данной работы стало создание поли(мет)акрилимидных пенопластов на основе блочных сополимеров акрилонитрила (АН) и метакриловой кислоты (МАК). В настоящее время указанные конструкционные материалы промышленно выпускаются под маркой «Акримид» в диапазоне плотности 40 – 100 кг/м<sup>3</sup> при прочности на сжатие 1,2 – 2,7 МПа и предельной прочности на разрыв 2,3 – 3,8 МПа соответственно.

Новым витком в развитии отечественного сегмента конструкционных поли(мет)акрилимидных пенопластов стало создание материалов на основе частиц измельченных блочных сополимеров АН-МАК. Процесс формирования поли(мет)акрилимидных пенопластов из частиц сополимера позволяет получать материалы с заданными габаритами, в то время как размеры и форма промышленно выпускаемых пенопластов «Акримид» ограничены размерами и геометрией исходных блоков сополимеров.

Показано, что варьирование температуры в диапазоне от 160 до 220 °С при формовании пенопластов из частиц размером от 1 до 10 мм позволяет получать материалы в диапазоне плотности 60 – 170 кг/м<sup>3</sup>.

Проведен ряд сравнительных физико-механических испытаний образцов пенопластов на основе измельченных сополимеров и промышленно выпускаемых пенопластов марки «Акримид». Установлено, что прочность при сжатии исследуемого материала достигает в среднем около 65 %, а предел прочности на разрыв достигает в среднем 55 % от соответствующего показателя материала «Акримид» в диапазоне плотности 60 – 100 кг/м<sup>3</sup> этих материалов.

Установлено, что исследуемые поли(мет)акрилимидные пенопласты на основе частиц сополимеров АН-МАК проявляют высокую устойчивость к длительному воздействию высоких температур (до 170 °С), что делает их весьма перспективными материалами для использования в высокотемпературных процессах формования и переработки различных композитов.



УДК 541.64

## ГЕТЕРОФАЗНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ СТАТИСТИЧЕСКОГО СОПОЛИМЕРА 4-ВИНИЛПИРИДИНА И МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С ТРИТИОКАРБОНАТНОЙ ГРУППОЙ

**Серхачева Н.С.<sup>1</sup>, Пономарева Д.А.<sup>1</sup>, Силантьева Е.В.<sup>1</sup>, Морозов Н.А.<sup>1</sup>, Лобанова Н.А.<sup>1</sup>, Ли Ц.<sup>2</sup>,  
Черникова Е.В.<sup>2</sup>, Прокопов Н.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МИРЭА-Российский технологический университет,

*институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, Москва, пр-т Вернадского, 86*

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

*Химический факультет, Москва, Ленинские горы, 1с3*

*E-mail: natalia-serkhacheva@yandex.ru*

В настоящий момент в полимерной химии одним из активно развивающихся направлений в области синтеза частиц блок-сополимеров является самоорганизация вызванная полимеризацией (polymerization induced self-assembly, PISA) [1]. В этой реакции наряду с мономером и инициатором используют полимерный прекурсор, способный наращивать цепь с образованием блок-сополимера. Зачастую для этой цели используют полимеризацию с обратной передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ) [2].

В настоящей работе проводили гетерофазную полимеризацию стирола (Ст) и метилметакрилата (ММА) в присутствии сополимера 4-винилпиридина и ММА (П(4ВП-со-ММА)) с тритиокарбонатной группой на конце цепи ( $M_n = 23200$  г/моль,  $M_w/M_n = 1.33$ ) в этаноле (об. соотношение мономер : этанол = 1:10). Реакцию инициировали динитрилом азоизомасляной кислоты (ДАК) (1 % масс.) при 65 °С. Продолжительность - 8 часов. Изучение кинетических закономерностей показало, что в аналогичных условиях полимеризация Ст протекает медленнее, чем ММА. По окончании реакции конверсия мономера составила 22 и 50 %, соответственно. При полимеризации Ст реакционная смесь сохраняла прозрачный вид даже после окончания реакции и понижения температуры до комнатной. При полимеризации ММА образовались белые хлопья. На протяжении реакции оценивали дисперсный состав, а именно, показано увеличение среднего диаметра с 6 до 46 нм с увеличением конверсии ММА. Вероятнее всего образующийся блок-сополимер П(4ВП-со-ММА)-блок-ПММА характеризуется верхней критической температурой растворения. Таким образом, в дальнейшем для формирования частиц диблок-сополимера необходимо подобрать инициатор, распадающийся на радикалы при более низкой температуре.

### Ссылки

[1] Penfold, N. J. W. Emerging Trends in Polymerization-Induced Self-Assembly / N. J. W. Penfold, J. Yeow, C. Boyer, S. P. Armes // ACS Macro Lett. – 2019. - Vol. 8, № 8. – P. 1029-1054.

[2] D'Agosto, F. RAFT-Mediated Polymerization-Induced Self-Assembly / F. d'Agosto, J. Rieger, M. Lansalot // Angewandte Chemie International Edition. – 2020. - Vol. 59, № 22. - P. 8368-8392.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРГИРУЮЩИХ АГЕНТОВ ПРИ СУСПЕНЗИОННОЙ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ВИНИЛХЛОРИДА С ВНИЛАЦЕТАТОМ

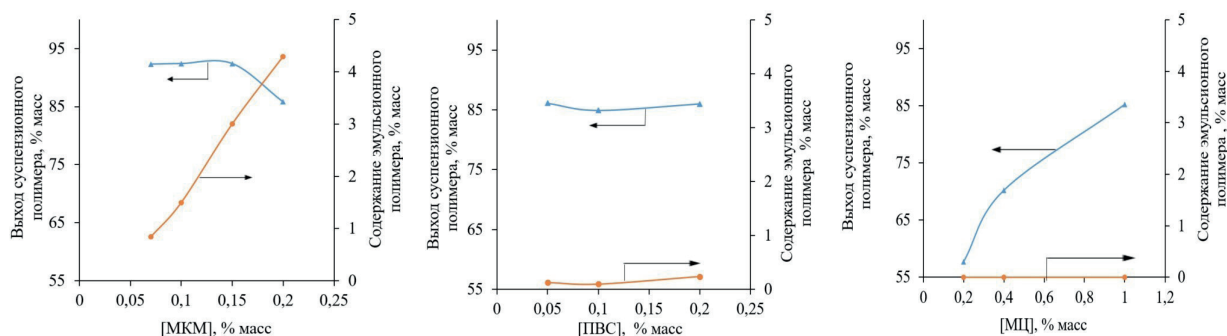
**Сивова О.А.,** Ладилова Н.Ю., Магжанова А.И., Корниенко П.В.

АО «НИИ Полимеров» г. Дзержинск Нижегородской обл., Россия

E-mail: Sivova@nicp.ru

Одной из ключевых особенностей технологии суспензионной полимеризации мономеров является протекание побочных процессов – образование эмульсионного полимера и полимерных агломератов. Указанные проблемы, как правило, являются следствием неэффективной стабилизации мономерно-полимерных частиц диспергирующими агентами, что не только снижает выход (со)полимера, но и негативно отражается на его физико-механических свойствах [1, 2].

В работе исследовано влияние условий проведения суспензионной полимеризации винилхлорида (ВХ) с винилацетатом (ВА) при стабилизации системы водорастворимыми диспергаторами разной химической природы: натриевой солью сополимера метилметакрилата с метакриловой кислотой (МКМ), частично омыленным поливиниловым спиртом (ПВС) с содержанием ацетатных звеньев 10-13 % масс и метилцеллюлозой (МЦ) (см. рисунок 1).



**Рисунок 1.** Влияние химической природы диспергатора и его количества на протекание суспензионной полимеризации винилхлорида с винилацетатом ( $t_{пол} = 65 - 70^{\circ}\text{C}$ ,  $[\text{Инициатор}] = 0,1 - 0,5$  % масс,  $[\text{Мономер}] : [\text{Вода}] = 1 : 3$ )

Показано, что при полимеризации ВХ с ВА в присутствии ПВС нивелируется образование эмульсионного полимера и агломерированных частиц (полимерных корок), а применение МКМ или МЦ для стабилизации системы ВХ-ВА сопряжено с их узкими рабочими концентрационными диапазонами, за пределами которых уменьшается выход полимера.

### Ссылки

- [1] Brooks, B.W. Suspension polymerization processes /B.W. Brooks // Chemical Engineering Technology. – 2010. – Vol.33, №11. – P. 1737 – 1744.
- [2] Наппер Д. Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами: Пер. с англ. // Привалко В.П., Липатов Ю.С. М.: Мир. – 1986. – С. 448.

УДК 542.91

## ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ГАЗОФАЗНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА НА МЕТАЛЛОЦЕНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

**Сулейманов С.М., Салахов И.И., Байда А.А.**

*СИБУР Центр Синтеза Полиолефинов, 626150, Тюменская область,  
г. Тобольск, территория «Восточный промышленный район», квартал 9, дом 1/1  
suleymanovsm@tobolsk.sibur.ru*

Полиэтилен (ПЭ) является самым крупнотоннажным полимером в мире, его производство превышает 100 млн т/г. и продолжает ежегодно расти. В РФ объем производства ПЭ также показывает рост благодаря развитию новых проектов. Рост спроса на ПЭ обусловлен благодаря его превосходным характеристикам, присущим пластмассам, а также высокой востребованностью многими отраслями, такими как строительство, сельское хозяйство, автопром, и т.д. Наиболее распространенными являются растворные, суспензионные и газофазные технологии синтеза ПЭ. Энергетически и экономически более эффективным является газофазный процесс [1].

Что касается тенденций развития металлоценовых катализаторов (МЦ) и газофазных процессов на их основе, то можно выделить два основных направления [2]:

1. Усилия в улучшении катализатора сосредоточены в первую очередь на лигандном окружении металлов, во вторую – на подложке;

2. Дизайн одноцентровых/однореакторных систем и/или мультикатализаторных/мультиреакторных систем.

Синтез полиолефинов на металлоценовых и пост-металлоценовых катализаторах развивается, что подтверждается количеством увеличивающихся публикаций. МЦ катализаторы обеспечивают контроль не только за молекулярным весом, ММР и кристаллической структурой образующегося полимера, но также и за положением сомономера в полимерной цепи [3]. Исследования показали, МЦ катализаторы на носителях, предпочтительнее использовать в современных газофазных процессах, так, недавно была разработана технология, позволившая повысить производительность традиционных МЦ катализаторов MAO/silica вдвое [4].

### Ссылки

[1] Paulik, C. Bimodal Polyethylene: Controlling Polymer Properties by Molecular Design. Multimodal Polymers with Supported Catalysts // Chapter 7 – 2019. – P. 253.

[2] Патент N2794940 РФ, МПК C08F 210/16, C08F 2/00. Полиолефиновая смола и способ ее изготовления: N2022107810: заявлено 24.03.2022 : опубл. 25.04.2023 / Ли, Хи Чон — С. 8.

[3] Jinliang Qiao, Meifang Guo, Liangshi Wang et al. Polym. Chem. – 2011. V.2. – P. 1611.

[4] Albemarle Launches New ActivCat Technology: – URL: [www.chemicalonline.com/doc/albemarle-launches-new-activcat-technology-0001](http://www.chemicalonline.com/doc/albemarle-launches-new-activcat-technology-0001) (дата обращения: 13.03.2023)

УДК 544.431.7

**ИНИЦИИРОВАНИЕ АНИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АКРИЛОНИТРИЛА  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ 1,8-ДИАЗАБИЦИКЛО-[5.4.0]-УНДЕЦЕНА-7****Тарасов А.Е., Грищук А.А., Ершов А.А., Бадамшина Э.Р.**

*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,  
г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1  
E-mail: atarasov@icp.ac.ru*

Полимеры и сополимеры акрилонитрила (ПАН), содержащие не менее 85% звеньев акрилонитрила (АН), являются одними из важнейших полимеров, производимых в промышленных масштабах и идущих в основном на производство волокон. ПАН-волокна широко используются в текстильной промышленности, к тому же значительная их доля идет на изготовление уникальных по своим физико-механическим характеристикам углеродных волокон (УВ), которые используются в качестве армирующего материала в производстве высокопрочных полимерных композитов, потребность в которых в РФ неуклонно возрастает. В области создания ПАН-волокон, в том числе углеродных, по-прежнему стоит актуальная задача поиска альтернативных существующим (радикальным процессам) экономичных способов полимеризации акрилонитрила.

В этом плане получены новые результаты исследования полимеризации АН в присутствии однокомпонентного инициатора 1,8-дизабицикло[5.4.0]ундец-7-ена (ДБУ), не содержащего в составе никаких элементов, способных загрязнять конечное волокно и приводить к наличию в нем дефектов. Впервые проведенные исследования механизма инициирования и кинетики анионной полимеризации акрилонитрила в присутствии ДБУ позволили установить структуру активных центров, иницирующих полимеризацию. При содержании воды не более 0,1 мас. % от массы растворителя диметилсульфоксида ДБУ существует в основном в виде индивидуального соединения, доля протонированной формы в виде комплекса с водой не превышает 1 %, и обе эти формы способны иницировать анионную полимеризацию АН. Исследования механизма инициирования и кинетики полимеризации позволили подобрать оптимальные условия по содержанию влаги в системе, позволяющие получать полимер с низкой степенью разветвления и молекулярной массой вплоть до миллиона дальтон, что открывает перспективы получения волокнообразующего полиакрилонитрила методами анионной полимеризации в мягких условиях без тщательной осушки реагентов (комнатная температура, влажная среда).

**Благодарность**

Работа выполнена по теме Государственного задания, № 124013000722-8.

УДК 677.494.745.32

## СОПОЛИМЕРЫ АКРИЛОНИТРИЛА С АКРИЛАТАМИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ПАН-ПРЕКУРСОРОВ ИЗ РАСПЛАВА

**Томс Р.В.<sup>1</sup>, Мариничев М.А.<sup>1</sup>, Исмаилов Д.А.<sup>1</sup>, Гервальд А.Ю.<sup>1</sup>,  
Черникова Е.В.<sup>2</sup>, Прокопов Н.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> РТУ – МИРЭА, ИТХТ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, 119571, пр. Вернадского, 86

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, г. Москва, 119991, Ленинские горы, 1, стр.3

E-mail: mater.02@mail.ru

Формование из расплава – альтернативный и более дешевый вариант получения волокон ПАН-прекурсов углеродного волокна. Несмотря на то, что текстильные волокна на основе акрилонитрила (АН) получают из расплава с успехом уже десятилетиями, получить волокна ПАН-прекурсора по расплавной технологии в промышленных масштабах остается нерешенной задачей. Необходимо сохранять устойчивость расплава и предотвратить циклизацию нитрильных групп в процессе формования за счет внутренней, внешней или комбинированной пластификации [1]. При внутренней пластификации используют сомомеры, которые снижают сильное внутри- и межмолекулярное взаимодействие нитрильных групп и замедляют циклизацию, например, эфиры акриловой кислоты с различной длиной алкильного радикала (метил-, этил-, бутил-, этилгексил-). Напротив, наличие мономеров с карбоксильными или амидными группами приводит к резкому ускорению циклизации. Присутствие внешнего пластификатора не снижает скорость циклизации, но приводит к снижению прочности волокна. Актуальной остается задача сохранения формы волокна при последующем нагревании во время термоокислительной стабилизации. В работе были получены сополимеры АН с алкилакрилатами (метил-, этил-, бутил-, третбутил-) и гидроксиэтилакрилатом (ГЭА) способом классической радикальной полимеризации в присутствии регулятора ММ. Установлено, что достаточный эффект внутренней пластификации можно достичь введением низших алкилакрилатов с содержанием не менее 15 мол.% и снижением молекулярной массы сополимеров до Mw от 30 до 60 кДа. Методом ДСК и ТГА была изучена термическая стабилизация сополимеров АН. Методом ИК-спектроскопии изучена кинетика циклизации нитрильных групп при разной температуре. Установлено, что сополимеры способны переходить в состояние расплава до протекания реакции циклизации нитрильных групп. Из сополимеров были получены волокна по расплавной технологии на лабораторном оборудовании. Установлен температурный режим их формования и проведена их термоокислительная стабилизация.

### Ссылки

[1] Chernikova, E. V. Melt-spinnable polyacrylonitrile—an alternative carbon fiber precursor / E. V. Chernikova, N. I. Osipova, A. V. Plutalova et al. // Polymers. – 2022. Vol. 14, № 23. – P. 5222

УДК: 541.64: 544.723

## КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ Cu(II) КАТИОНИТОМ КУ-2-8

**Усмонова Х.Х., Ярманов Ш.Х., Ботиров С.Х., Абдуллаева Н.А.,  
Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г.**

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
E-mail: xurshidau02@gmail.com*

Загрязнение воды токсичными металлами остается серьезной экологической и общественной проблемой. В рамках решения данной проблемы в работе [1] проведён анализ сорбции ионов меди различными катионитами в динамических условиях. В данной работе изучена кинетика сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> из синтетических растворов на промышленном катионите КУ-2-8 в статических условиях. Анионит КУ-2-8 имеет максимальную сорбционную емкость 5,6 мг-экв/г.

Таблица. Кинетические параметры сорбции ионов Cu(II) ионообменником КУ-2-8,

Сорбент	Ион металла	Начальная конц. (моль)	Псевдо-первый порядок			Псевдо-второй порядок		
			Равновесная величина адсорбции q <sub>e</sub> (мг г <sup>-1</sup> )	k <sub>1</sub> (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Равновесная величина адсорбции q <sub>e</sub> (мг г <sup>-1</sup> )	k <sub>2</sub> (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
КУ-2-8	Cu <sup>2+</sup>	0.03	123.23	0,002307	0,9139	128.41	0,000533	0,998
		0.04	136.86	0,002431	0,819	142.254	0,000532	0,998
		0.05	155.65	0,002138	0,9368	162.324	0,000523	0,997
		0.06	195.06	0,002309	0,9792	201.586	0,000533	0,999
		0.07	206.48	0,002201	0,9846	216.156	0,000523	0,988
		0.08	211.11	0,002404	0,9631	227.214	0,000485	0,998
		0.1	216.505	0.002303	0,919	234.274	0,000533	0,999
		Среднее значение k <sub>1</sub> и k <sub>2</sub> 0,001955						0,000523

Полученные данные показывают, что процесс сорбции больше соответствует кинетической модели псевдо-второго порядка, чем модели псевдопервого порядка. Следовательно, на кинетику процесса сорбции влияет как природа ионов, так и концентрация функциональной группы в ионообменнике [2].

### Ссылки

[1]. Авфукова Л.С., Белова Т.П. Сорбционное извлечение ионов цветных металлов из многокомпонентных растворов катионитом КУ-2-8 и его зарубежными аналогами //Успехи современного естествознания. – 2021. – № 6 – С. 42-48 <http://doi.org/10.17513/use.37639>

[2]. Bekchanov D, Kawakita H, Mukhamediev M, Khushvaktov S, Juraev M. Sorption of cobalt (II) and chromium (III) ions to nitrogen- and sulfur-containing polyampholyte on the basis of polyvinylchloride.// Polym Adv Technol. – 2021. – № 32 – 2700–2709. <https://doi.org/10.1002/pat.5209>



УДК 544.773.433

## СИНТЕЗ ГИДРОГЕЛЕВОЙ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО СИЛИЛИРУЮЩИМ АГЕНТОМ, ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

**Фомина Е.Д., Тихонова А.А., Рябков Е.Д.**

*МИРЭА – Российский технологический университет,*

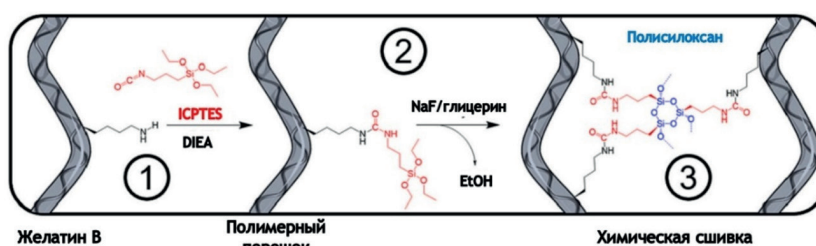
*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, Проспект Вернадского, 86*

*E-mail: fomina.ed12@gmail.com*

В данной работе рассматривается синтез гидрогелевой мембраны на основе полимера природного происхождения желатина, которая может быть использована как функциональный элемент химического сенсора. Гидрогели представляют собой шитые трехмерные полимерные сетки, способные набухать в воде и формировать нерастворимый материал [1].

Первоначально в работе был получен (3-изоцианатопропил)триэтоксисилан, выступающий в качестве модификатора желатина. Синтез осуществляли путем взаимодействия 3-аминопропилтриэтоксисилана с диэтилкарбонатом в присутствии этилата натрия и дальнейшим нагревом реакционной смеси до 220 °С.

Для получения гидрогеля раствор желатина подвергали взаимодействию с (3-изоцианатопропил)триэтоксисиланом и N,N-диизопропилэтиламином. Полученный полимер растворяли в натрий-фосфатном буфере и проводили сшивку за свет введения фторида натрия как сшивающего агента [2].



**Рисунок 1.** Схема синтеза гидрогеля на основе желатина.

В результате был получен жёсткий благодаря силоксановым связям гидрогель, характеризующийся биосовместимостью, что делает возможным использование данного материала в качестве мембраны медицинского сенсора. В дальнейшей работе будет рассмотрена возможность функционализации материала за счет введения в него проводящих элементов (углеродных нанотрубок) и исследована адгезия гидрогеля к различным поверхностям.

### Ссылки

- [1] Hu, L., Chee, P. L., Sugiarto, S., Yu, Y., Shi, C., Yan, R., Yao, Z., Shi, X., Zhi, J., Kai, D., Yu, H. D., & Huang, W. (2023). Hydrogel-Based Flexible Electronics. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 35(14), e2205326
- [2] Simon, M., Maumus, M., Legrand, B., Sole, L., Dufaud, M., Mehdi, A., Jorgensen, C., Noël, D., & Subra, G. (2023). Gelatin modified with alkoxy silanes (GelmSi) forms hybrid hydrogels for bioengineering applications. *Biomaterials advances*, 147, 213321.

УДК 541.163+547.565.2

## СЕЛЕКТИВНЫЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АНИОНИТЫ НА ОСНОВЕ ОЛИГОМЕРА ЭПИХЛОРИДРИНА

**Хакимболатова К.Х., Ковригина Т.В., Чалов Т.К.**

*АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г.Алматы, ул Валиханова 106  
E-mail: ics\_kamila@mail.ru*

Перспективным направлением получения ионообменных материалов является применение олигомеров, содержащих в составе функциональные группы с одинаковой реакционной способностью. Их использование позволяет проводить поликонденсацию в мягких условиях и дает возможность изучить кинетику и механизм промежуточных процессов. Цель работы – исследование закономерностей образования поликонденсационных анионообменников на основе олигомера эпихлоргидрина (ОЭХГ) и различных полиаминов.

Изучение влияния соотношения исходных компонентов на свойства анионитов показало, что уже при минимальном соотношении ОЭХГ : полиамин (мас.ч.), равном 1,0 : 0,2 происходит сшивание молекул ОЭХГ. Однако образцы отличаются низкой статической обменной емкостью (СОЕ), о чем свидетельствует высокое содержание остаточного хлора (25-35%) и незначительное содержание азота (3-6%).

Результаты исследования влияния природы растворителя на степень превращения, о которой судили по величине СОЕ и остаточному содержанию хлора показали, что СОЕ образцов анионитов (7,4-8,1 мг-экв/г) и содержание остаточного хлора (4,3-5,3%) отличаются незначительно, однако скорость гелеобразования в среде растворителей различна.

Установлено, что отверждения геля при температуре 80-100°C продолжительность этого процесса должна быть не менее 24 ч во избежание образования механически непрочных полимеров вследствие низких степеней превращения. Высокая набухаемость ионитов при недостаточной продолжительности термообработки свидетельствует о низкой плотности поперечных связей в полимере. СОЕ достигает наибольшей величины при 80-100°C.

Изучение кислотно-основных (рК<sub>а</sub> 7,9-8,8) и сорбционных свойств анионитов показало, что синтезированные аниониты селективно извлекают ионы ванадия в присутствии Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>. Так, из раствора с содержанием (г/дм<sup>3</sup>): V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 4,3; Cu<sup>2+</sup> – 0,5; Ni<sup>2+</sup> – 0,5; Fe<sup>3+</sup> – 0,3 сорбируется до 0,69 – V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> мг/г; Cu<sup>2+</sup> – 0,1 и Fe<sup>3+</sup> – 0,01 мг/г.

### **Благодарность**

Работа выполнена в Институте химических наук им. А.Б. Бектурова по программе BR21882220 целевого финансирования научных исследований на 2023-2025 годы, осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

УДК 544.03: 543.429.22

## ЭПР СПЕКТРОСКОПИЯ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА, ИМПРЕГНИРОВАННОГО 4-ГИДРОКСИ-ТЕМПО-БЕНЗОАТОМ В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

**Чернышов Д.А.<sup>1</sup>, Попова А.А.<sup>1,2</sup>, Голубева Е.Н.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Ленинские горы 1, с. 3*

<sup>2</sup> *Институт регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава  
России, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, с. 2  
E-mail: daniil.chernyshov@chemistry.msu.ru*

Аморфный полиметилметакрилат используют в медицине для создания костных цементов, костных имплантов и искусственных хрусталиков. Формирование таких систем может включать импрегнацию их биологически активными веществами (сигнальными молекулами, антисептическими средствами и др). Однако возможная нестабильность таких наполнителей ограничивает как температурный режим модификации, так и максимальное содержание допанта в материале. Сверхкритический диоксид углерода ( $T_c = 31.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_c = 7.38 \text{ МПа}$ ) является перспективной средой для модификации полимерных материалов ввиду его высоких пластифицирующих свойств, позволяющих смягчать параметры процесса и достигать равномерного распределения БАВ по образцу за значительно меньшее время (в сотни раз). Охарактеризовать физико-химические свойства полученных полимеров (температура стеклования, свободный объем) позволяет метод ЭПР спектроскопии в рамках методики спинового зонда благодаря чувствительности магнитно-резонансных параметров (тензор сверхтонкого взаимодействия  $A$ , вращательной диффузии  $D_{вр}$ , g-фактор) и формы линий спектров парамагнитных частиц к внешнему окружению радикалов.

В настоящей работе проведена импрегнация пленок аморфного ПММА ( $M_w = 170 \text{ кДа}$ ) толщиной 40 – 90 мкм спиновым зондом 2,2,6,6-тетраметил-4-(бензоилокси)-пиперидин-1-оксил (4-гидрокси-ТЕМПО-бензоат) в среде  $\text{scCO}_2$  при  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , 9.0 МПа. Пространственное распределение молекул допанта в образце оценено из отношения амплитуд компонент (параметр  $d_1/d$ ) в спектре жесткого предела, зарегистрированного при  $T = 90 \text{ К}$ . Времена вращательной корреляции  $\tau_{\text{корр}}$  4-гидрокси-ТЕМПО-бензоат определены из моделирования спектров нитроксильного радикала. Из анализа расстояний между крайними компонентами в спектрах ЭПР ( $2A_{zz}^*$ ) при нагревании от  $-183$  до  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , температуру, соответствующую размораживанию подвижности полимерных цепей, оценивали как точку перегиба кривой. Температура стеклования полимера  $T_g^{\text{ЭПР}}$  установлена методом насыщения микроволновой мощности, как точка излома на зависимости времени спин-решеточной релаксации ( $T_1$ ) от температуры. Полученные методом ЭПР спектроскопии оценки  $T_g^{\text{ЭПР}}$  сопоставлены с данными дифференциальной сканирующей калориметрии.

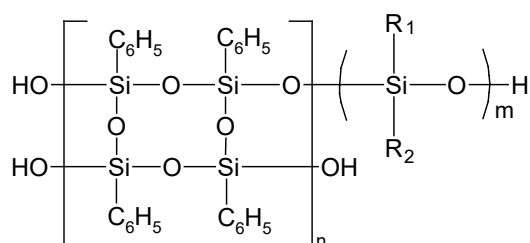
УДК: 547.1'128: 621.382

## ТЕРМОСТОЙКИЕ ЛАКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ

**Чигорина Т.М.**

*Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова,  
Владикавказ, ул. Ватутина 44-46  
E-mail: tchigorina@mail.ru*

Развитие современной науки и техники невозможно без создания новых полимерных материалов, обеспечивающих высокие и стабильные характеристики изделий для электронной техники. При разработке рецептуры кремнийорганического лака в качестве основы композиции выбран блок-сополимер "Лестосил-СМ" (силоксановый блок-сополимер «лестничной» структуры, ТУ 38.031.006-90), формула которого приведена ниже.



где:  $\text{R}_1, \text{R}_2 - \text{CH}_3$ ;  $\text{C}_6\text{H}_5$ ;  $n=5 \div 8$ ;  $m=25 \div 80$

Отверждали композиции катализатором 119-54 (винил-оксим, 5 вес.ч. на 100 ч. каучука) по режиму — 3 часа на воздухе, затем 5 часов при 70°C. Результаты физико-механических испытаний: удельное объемное электрическое сопротивление -  $5 \cdot 10^{15}$  Ом·см; диэлектрическая проницаемость на  $10^6$  Гц - 2,5; тангенс угла диэлектрических потерь на  $10^6$  Гц -  $1,1 \cdot 10^{-3}$ ; условная прочность при растяжении ( $\sigma_{\text{разр}}$ ) - 3,0 МПа; относительное удлинение при разрыве ( $\epsilon$ , %) - 148.

Из выше приведенных результатов видно, что разработанные композиции имеют высокие диэлектрические характеристики, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к материалам для электроники.

УДК 678

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ БЕНЗОЦИКЛОБУТЕНА И БИСФЕНОЛА А

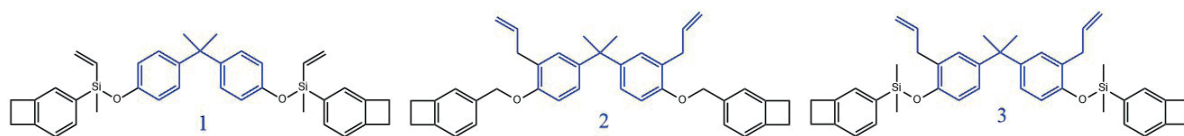
**Чичева П.А.<sup>1,2</sup>, Левченко К.С.<sup>1,2</sup>, Демин Д.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш»,  
Москва, ул. Ивана Франко д.4

<sup>2</sup>МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, пр-т Вернадского д. 78  
E-mail: pchicheva@mail.ru

Полимерные диэлектрические материалы на основе бензоциклобутена (БЦБ) находят широкое применение в микроэлектронной промышленности благодаря превосходным физико-химическими свойствам. БЦБ-группы при нагревании выше 160 °С могут переходить в активную о-ксилиленовую форму. В таком виде они могут вступать в реакцию Дилса-Альдера друг с другом, а также с кратными связями [1].

На данный момент на рынке диэлектрических материалов на основе БЦБ наибольшую популярность имеет продукт *CYCLOTENE*, выпускаемый компанией Dow Chemicals. Недостатком данного продукта является высокая стоимость, а также недоступность на российском рынке. С целью создания материала, не уступающего по своим физико-химическим и диэлектрическим свойствам зарубежному аналогу, были синтезированы продукты **1-3**. Представленные продукты были получены с использованием доступного и недорогого отечественного сырья (бисфенола А и аллилхлорида).



**Рисунок 1.** Структурные формулы синтезированных мономеров

В данной работе были синтезированы 3 мономера на основе БЦБ и бисфенолов (1-3). На их основе были получены полимеры путем термополимеризации, нагрев проводили ступенчато в диапазоне 160-240°С. Материалы показали хорошие диэлектрические свойства  $\epsilon = 2.6-2.7$ ,  $\text{tg } \delta = 1.2-1.3 \cdot 10^{-3}$  при 1 ГГц, высокую термическую стабильность  $T_{d_{5\%}} > 395$ , низкий КЛТР  $< 91 \text{ } \mu\text{m}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$ . Таким образом, полученные материалы имеют потенциал для использования в качестве диэлектриков в микроэлектронной промышленности.

### Ссылки

[1] Kirchoff R. A. Benzocyclobutenes in polymer synthesis / R. A Kirchoff, K. J. // Bruza Progress in Polymer Science – 1993. Vol. 18, № 1. – P 85–185.

УДК 665.761.3:621.89.099.6

## ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ОБРАТИМО-ДЕЗАКТИВИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЯЗКОСТНЫХ ПРИСАДОК РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

**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 им. Н.И. Лобачевского  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, к. 5

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и  
медицинской химии РАН,

142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр. ак. Семенова, д. 1

E-mail: sameehsshanwar.1995@gmail.com

В последние десятилетия важнейшей задачей современной нефтехимической промышленности является рациональное использование нефтяных ресурсов, в том числе топлив и масел. Особое внимание уделяется повышению качества нефтяных масел с целью продления срока службы двигателей внутреннего сгорания. Одно из решений данной проблемы заключается во введении присадок к маслам, способствующих улучшению их эксплуатационных характеристик. Среди всех вводимых присадок в масло существенную долю занимают загущающие присадки, улучшающие вязкостно-температурные свойства минеральных масел. При разработке пакетов вязкостных присадок значительное внимание уделяют их стабильности при воздействии высоких температур как в отсутствие, так и в присутствии кислорода воздуха, а также механическому воздействию, которое приводит к изменению их загущающей способности.

В данной работе были синтезированы линейные и разветвленные сополимеры эфиров метакриловой кислоты фракции C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> методом обратимо-дезактивируемой радикальной полимеризации в присутствии источника стабильных нитроксильных радикалов и регулятора молекулярно-массовых характеристик С-фенил-N-трет. бутилнитрона (ФБН) и дивинил бензола (ДВБ) как сшивающего агента для образования разветвленных полимеров. Для линейных и разветвленных сополимеров установлены гидродинамические и конформационные свойства (вязкостный фактор Зимма, кажущаяся плотность, константа Хаггинса, вязкостный гидродинамический радиус), которые свидетельствуют об образовании сополимеров разветвленной структуры в присутствии ДВБ.

Проанализирована загущающая способность синтезированных сополимеров различной молекулярной массы (ММ) и структуры на примере средневязкостного компонента масла или индустриального масла. Установлено, что наибольшей загущающей способностью обладают присадки с высокой ММ, но при этом линейные полимеры с низкими значениями ММ и полидисперсностью обладают большей стойкостью к механической деструкции. Показано, что масло, загущенное разветвленными полимерами, обладает самокомпенсирующимися свойствами в отношении индекса вязкости при механической деструкции присадки в масле.



УДК: 541.64

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИЭФИРКЕТОНКЕТОНОВ

**Шахмурзова К.Т.<sup>1,2</sup>, Курданова Ж.И.<sup>1,2</sup>, Жанситов А.А.<sup>1,2</sup>,  
Мионов В.Г.<sup>1</sup>, Куликов А.П.<sup>1</sup>, Хаширова С.Ю.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Тульский государственный университет, Тула, 300012, проспект Ленина, д. 92.*

<sup>2</sup> *Кабардино-Балкарский государственный университет  
им. Х.М. Бербекова, Нальчик, 360004, Чернышевского 173.*

*E-mail: k.shakhmurzova@kbsu.ru*

Полиариленэфиркетоны относящиеся к классу суперконструкционных полимеров находят широкое применение благодаря способности выдерживать высокие температуры эксплуатации, повышенные механические нагрузки, а также стойкости к агрессивной химической среде и радиационному излучению. В настоящее время одним из наиболее востребованных полимеров из данного класса является полиэфиркетонкетон (ПЭКК), который не уступает по своим механическим свойствам известному и широко распространенному полиэфирэфиркетону и обладает более низкой температурой переработки, что облегчает процесс изготовления изделий.

Однако, несмотря на возросший интерес исследователей к ПЭКК, ряд вопросов, связанных с его синтезом, очисткой от кислотного катализатора ( $AlCl_3$ ) и переработкой остается открытым и нерешенным.

В работе представлены результаты исследования процесса синтеза ПЭКК низкотемпературной поликонденсацией методом электрофильного замещения. Определены основные технологические параметры (время и температура поликонденсации), а также влияние соотношения кислотного катализатора на молекулярно-массовые и физико-механические характеристики. Установлено, что при введении катализатора <300% (в пересчете на терефталойлхлорид) и проведении поликонденсации при 60-80 °С в течение 6-13 часов приводит к получению ПЭКК с оптимальными молекулярно-массовыми характеристиками (характеристическая вязкость 0,6-0,9 дл/г). Синтезированные образцы ПЭКК обладают высокой термостойкостью, превышающей 500 °С.

Результатом побочной реакции, катализируемой  $AlCl_3$ , является образование о-изомерных дифениловых фрагментов, которые при высоких температурах могут приводить к внутримолекулярной циклизации данных фрагментов, с образованием ксангидрольных групп, инициирующих процессы сшивания и структурирования, приводящие к снижению термостабильности. В связи с этим исследовано влияние различных способов очистки синтезированного ПЭКК от побочных продуктов. Выявлено что апротонные диполярные растворители способствуют более полной очистке ПЭКК от примесей и, следовательно, позволяют повысить термостабильность полимера при переработке.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке и инновациям Тульской области в рамках договора № 10 от 09.07.2022 «Разработка высокоэффективной импортозамещающей технологии производства высокотехнологичного полиэфиркетонкетона с длительным сроком службы».

УДК 620.22:678.6

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО L-ПОЛИЛАКТИДА

**Шевченко В.В., Кривогуз Ю.М., Макаренко О.А.**

*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель,  
ул. Кирова 32 а, 246050, Беларусь  
E-mail: mpri.shevchenko@gmail.com*

Влияние талька и эпоксицированного соевого масла (ЭСМ) на теплофизические и релаксационные свойства L-полилактида (ПЛА) изучено с использованием методов дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и динамического механического анализа (ДМА). Композиции ПЛА с тальком и ЭСМ получали путем компаундирования компонентов в двухшнековом экструдере «TSSK-35/40» при температуре расплава в зонах смешения и выдавливания 190 °С. Количество ЭСМ в объеме ПЛА составляло 3, 5, 10, 15 и 20 мас.%. Концентрация талька в ПЛА варьировалась от 3 до 10 мас.% [1].

Обнаружено, что в присутствии талька происходит перестройка кристаллических областей ПЛА, приводящая к ускорению процесса холодной кристаллизации, формированию более мелких и дефектных кристаллитов, росту теплоты плавления ( $\Delta H_{пл}$ ), а также увеличению степени кристалличности исследуемых ПЛА композиций.

Введение ЭСМ приводит к снижению температуры стеклования и температуры холодной кристаллизации ПЛА, то есть ЭСМ выполняет роль пластификатора и способствует увеличению подвижности макроцепей ПЛА. В присутствии ЭСМ температура плавления ПЛА изменяется незначительно по сравнению с исходным ПЛА, при этом  $\Delta H_{пл}$  ПЛА увеличивается с ростом концентрации ЭСМ. Это свидетельствует о том, что добавление ЭСМ приводит к повышению плотности упаковки кристаллитов ПЛА и не влияет на размеры и дефектность кристаллических образований.

Важная отличительная особенность влияния ЭСМ на кристаллизруемость ПЛА заключается в том, что на термограммах охлаждения ПЛА при добавлении ЭСМ в количестве 3,0 мас.% и 5,0 мас.% наблюдаются экзотермические пики кристаллизации из расплава ПЛА с максимумами при 93,6 °С, тогда как на термограммах охлаждения исходного ПЛА и ПЛА композиций с тальком процессы кристаллизации из расплава не регистрируются.

Анализ данных ДМА показал, что структура композитов ПЛА, формирующаяся при использовании в качестве модификаторов талька и ЭСМ, способствует облегчению диссипации энергии, приложенной к образцам, вследствие образования неоднородностей и нерегулярностей аморфной и кристаллической фаз, а также возникновению дополнительных источников внутреннего трения при отсутствии адгезии между компонентами.

### Ссылки

[1] Кривогуз, Ю.М. Изучение воздействия модификаторов различной природы на теплофизические и релаксационные свойства l-полилактида. I. влияние талька и эпоксицированного соевого масла / Ю.М. Кривогуз, В.В. Шевченко, О.А. Макаренко // Полимерные материалы и технологии. – 2023. – Т.9, №2. – С. 48–54.

УДК 691.175.2

## РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА И МОДИФИЦИРОВАННОЙ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

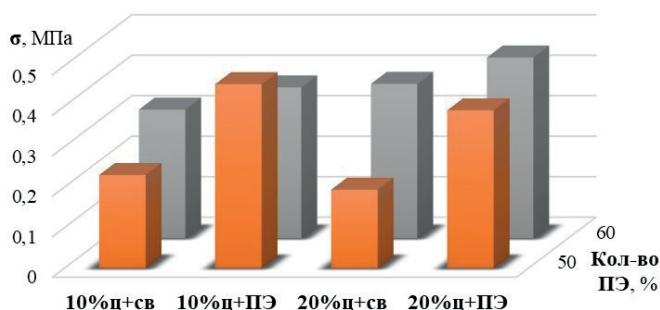
**Шишкинская В.А.<sup>1,2</sup>, Серенко О.А.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», г. Москва, Миусская площадь, д. 9, 125047  
E-mail: dia-diaa@bk.ru

Одним из наиболее распространенных методов борьбы с полимерными отходами является их вторичная переработка. Это трудоемкий процесс, так как для эффективной переработки необходимы предварительная сортировка, очистка, измельчение и гранулирование отходов. В рамках концепции «Полимеры будущего» разрабатываются новые подходы к обращению с отходами, нацеленные на создание технологии, позволяющей на долгие годы утилизировать несортированный измельченный пластик в материалы строительного назначения. Одним из вариантов реализации такого подхода является получение композитов, где наполнителем являются «мягкие» полимерные отходы, а матрицей «жесткие» минеральные вяжущие и/или синтетические смолы.

Получены композиты, в которых матрицей является смесь карбамидоформальдегидной смолы, Na-карбоксиметилцеллюлозы, цемента и солянокислого анилина, а наполнителем отходы полиэтилена (ПЭ), обработанные натриевым жидким стеклом. Образцы получены при комнатной температуре, просушивание происходило на воздухе в течение 14 дней. На рисунке 1 представлены результаты испытаний на прочность при изгибе (ГОСТ 56810-2015) вышеописанных композитов.



**Рисунок 1.** Прочность при изгибе композиционных материалов на основе отходов ПЭ, содержащих 10 и 20 мас. % цемента при пересчете на связующее и на наполнитель

Увеличение количества наполнителя положительно сказывается на прочностных характеристиках, по-видимому, за счет эластичности частиц ПЭ. Полученные результаты указывают на рациональность проведения дальнейших исследований в данной области.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00277-24-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

УДК 691.175.5/8

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛИЭФИРЫ С ЗАМЕЩЕННЫМИ НАФТАЛИНОВЫМИ ФРАГМЕНТАМИ

**Шорников Е.В.,** Кочемасова Д.В., Гришин С.В., доц. Каримова Л.К.,  
проф. Дебердеев Р.Я., проф. Дебердеев Т.Р.

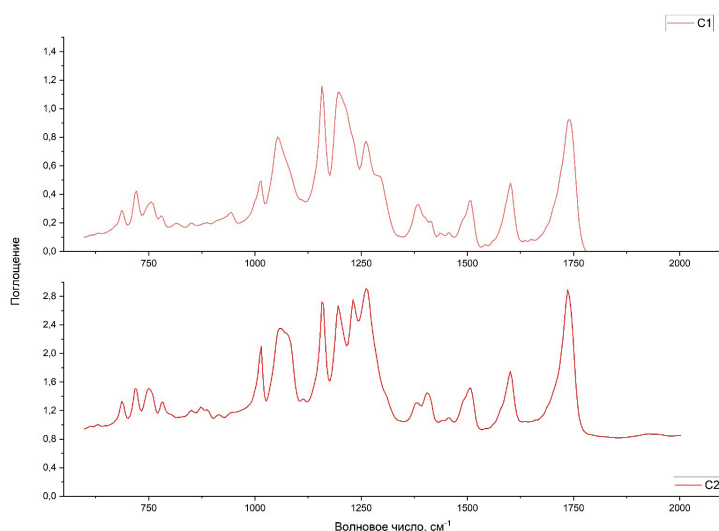
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
г. Казань, ул. Карла Маркса, 68  
E-mail: i@eg-sh.ru*

В последние десятилетия наблюдается бурное развитие жидкокристаллических (ЖК) полимеров, которые обладают анизотропной природой и комплексом ценных свойств. Создавая полимерные смеси с добавлением термотропных полиэфиров добиваются улучшения свойств композиционных материалов.

Одним из видов перспективных ЖК полиэфиров являются полимеры на основе 4-гидроксibenзойной кислоты (4-ГБК). Он относится к термотропным ЖК полимерам.

В данной работе были синтезированы полимеры путем высокотемпературной поликонденсации, на основе 4-ГБК, 1,5-дигидрокси-нафталина и терефталевой (образец С1) или изофталевой кислот (образец С2).

Целью этого исследования являлось изучение и сравнение ИК спектроскопии синтезированных образцов. В образцах наблюдалось смещение полосы поглощения карбонильной группы из области 1700-1680  $\text{см}^{-1}$  в область 1740-1700  $\text{см}^{-1}$ , что свидетельствует об образовании сложноэфирной группы [1]. Кроме того, валентным колебаниям связи С-О-С соответствуют полосы при 1030 и 1261  $\text{см}^{-1}$ . Пики поглощения при 1500-1600 соответствуют колебаниям фениленовых фрагментов. Наличие нафталинового цикла в полимере объясняет наличие интенсивного пика поглощения при 1675-1600  $\text{см}^{-1}$ . В образце С2 наблюдаются отличия в области 930-800  $\text{см}^{-1}$ , что связано с 1,3-положением карбоксильных групп в изофталевой кислоте.



**Рисунок 1.** Графики ИК спектроскопии образцов С1, С2

### Ссылки:

T. R. Deberdeev, Thermal Behavior of Novel Aromatic Oligoesters and // Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series. – 2022. – No. 3(107). – P. 180-188

## ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИСТИРОЛА

Чалых А.Е.<sup>1</sup>, Шульгин А.М.<sup>2</sup>, Грицкова И.А.<sup>2</sup>, Романенко Г.А.<sup>2</sup>

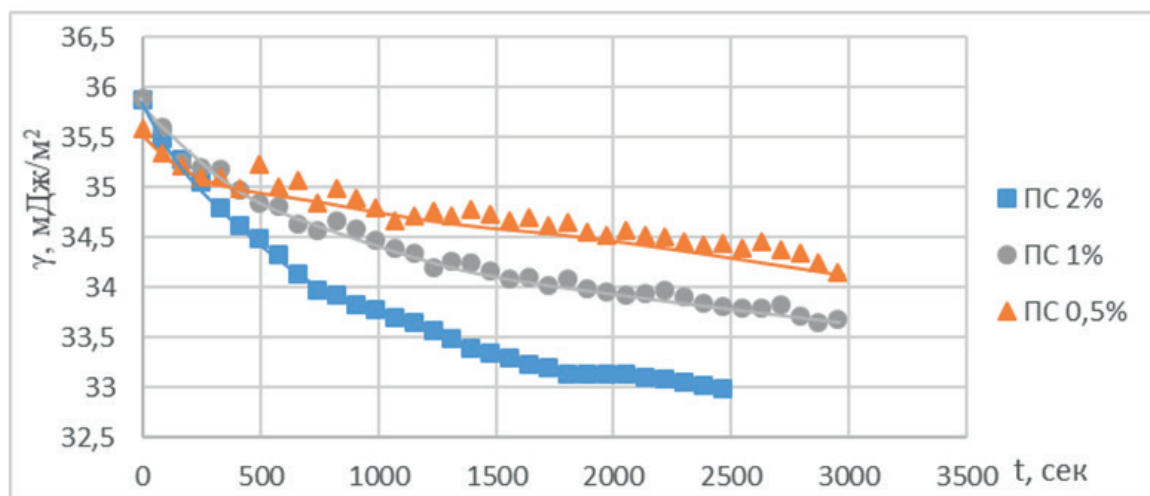
<sup>1</sup> ИФХЭ РАН, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4

<sup>2</sup> МИРЭА – РТУ, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78

E-mail: antonshulgin2017@yandex.ru

Принято считать, что в формировании межфазного адсорбционного слоя при полимеризации полимерной суспензии в присутствии нерастворимых в воде ПАВ принимают участие и макромолекулы полимера, содержащие функциональные группы, например, поверхностно-активный полистирол (ПС), образованный при гетерофазной полимеризации, инициированной персульфатом калия [1]. В этом случае, ориентируясь на границе раздела фаз концевыми сульфогруппами, он понижает межфазное натяжение до 20 мДж/м<sup>2</sup>. Представляло интересным показать отличие ПС такого строения от ПС, полученного путем ионно-координационной полимеризации, в которой нет поверхностно активных концевых групп.

Исследование диффузии ПС к межфазной границе проводили методом висящей капли на приборе Kruss DSA 30 при 25°C. Были проведены исследования динамического межфазного натяжения растворов ПС с  $M_n = 140$  кДа в толуоле на границе с дистиллированной водой. Для расчёта коэффициента использовали модель Уорда-Тордаи [2]. Показана, что использованный ПС незначительно снижает межфазное натяжение на границе толуольный раствор ПС/вода до 33 мДж/м<sup>2</sup> в отличии от ПС, содержащего концевые сульфо-группы. Полученные коэффициенты диффузии изменялись от  $1,83 \times 10^{-9}$  до  $5,66 \times 10^{-10}$  см<sup>2</sup>/с при увеличении концентрации.



**Рисунок 1.** Изотермы межфазного натяжения раствора полистирола в толуоле при разных массовых концентрациях.

### Ссылки

[1] Хаддаж М.Х. Образование частиц при радикальной гетерофазной полимеризации стирола: дис. ... д-ра. хим. наук: 02.00.06 / Хаддаж Мишаль Хаддаж. - М., 2011. - 254 с.

[2] Ward, A.F.H. Time-dependence of boundary tensions of solutions I. The role of diffusion in time effects / A.F.H. Ward, L. Tor-dai // J. Chem. Phys. – 1946. Vol. 14. – P. 453-461.

УДК-661.718.5

## ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОРГАНО- НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ И SiO<sub>2</sub>

**Эргашев Д.Ж., Ашуров Н.Ш., Абдуразаков М., Атаханов А.А.**

*Институт химии и физики полимеров Ан РУз, г. Ташкент, ул. А. Кадыри 7б.*

*E-mail: doniyor\_ergashev94@mail.ru*

Органо-неорганические гибридные материалы благодаря своим уникальным и специфическим свойствам привлекают как научный, так и практический интерес. В этом плане использование нанопроизводных возобновляемых, биоразлагаемых природных полимеров является актуальным с точки зрения их экологической безопасности [1].

В работе был синтезирован органо-неорганический композит на основе наноцеллюлозы (НЦ) и SiO<sub>2</sub>, исследованы его структура и свойства.

При исследовании размера частиц целлюлоза-кремниевый композита (ЦКК) методом динамического светорассеяния и АСМ было установлено, что их размеры варьируются от нанометров (10-200 нм) до микрона (100-600 мкм) и имеют бимодальное распределение.

Методом ИК-спектроскопии установлено, что в спектрах образцов наблюдаются полосы поглощения в области 3442 см<sup>-1</sup>, характерные для гидроксильных групп целлюлозы и значительное уменьшение интенсивности полосы поглощения в области 1635 см<sup>-1</sup>, связанное с адсорбцией воды. Это можно объяснить снижением гидрофильных свойств композиций, обеспечиваемых наночастицами диоксида кремния. Об этом свидетельствует полосы поглощения в областях 790 см<sup>-1</sup> и 1100 см<sup>-1</sup>, соответствующих валентным колебанием Si-O-Si и Si-O-C групп, а также возникновение полосы поглощения деформационных колебаний Si-O-Si групп в области 470 см<sup>-1</sup>.

По результатам рентгенографического анализа выявлено снижение степени кристалличности композиции с 86% НЦ до 20% по сравнению с НЦ, а также наблюдается смещение рефлекса при 2θ от 22.58 до 22.63°.

Результаты термического анализа образцов ЦКК показали, что стойкость к термоокислительной деструкции полученного композита резко возросла по сравнению с образцом НЦ. По кривым интегральной и дифференциальной термогравиметрии можно отметить различный характер термоокислительной деструкции композита и его отдельных составляющих. Это указывает на то, что между НЦ и SiO<sub>2</sub> имеет место химическое взаимодействие, которое также подтверждено результатами других исследований.

### Ссылка

Barud H. S., Assunc R. M. N., Martines M. A. U., Dexpert-Ghys J., Marques R. F. C., Messaddeq Y. S., Ribeiro J. L. Bacterial cellulose-silica organic-inorganic hybrids // Sol-Gel SciTechnol -2008. Vol. 46, -P. 363-367. DOI:10.1007/s10971-007-1669-9



УДК 535.372:541.64:546.98:544.473-039.63-386

## ДИАМИНОКАРБЕНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПАЛЛАДИЯ(II) КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ПО СУЗУКИ

**Якиманский А.А., Жукова Е.В., Кашина А.В., Чулкова Т.Г., Якиманский А.В.**

*Институт высокомолекулярных соединений РАН,  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: yakimanskii@gmail.com*

Ациклические диаминокарбеновые комплексы (АДК) палладия(II) превосходно зарекомендовали себя в качестве катализаторов в реакции кросс-сочетания Сузуки между арилгалогенидами и производными арилбороновых кислот [1]. Ключевое достоинство этих комплексов – стабильность в присутствии кислорода и воды, что делает их более предпочтительными катализаторами по сравнению с широко используемыми фосфиновыми комплексами палладия. Поскольку АДК палладия(II) проявляют высокую каталитическую активность в модельной реакции Сузуки, их применение в поликонденсации по Сузуки для синтеза  $\pi$ -сопряженных полимеров является перспективной задачей.

Мы провели поликонденсацию по Сузуки, катализируемую АДК палладия(II), под действием микроволнового излучения в двухфазной системе толуол-вода в присутствии кислорода воздуха (Схема 1).

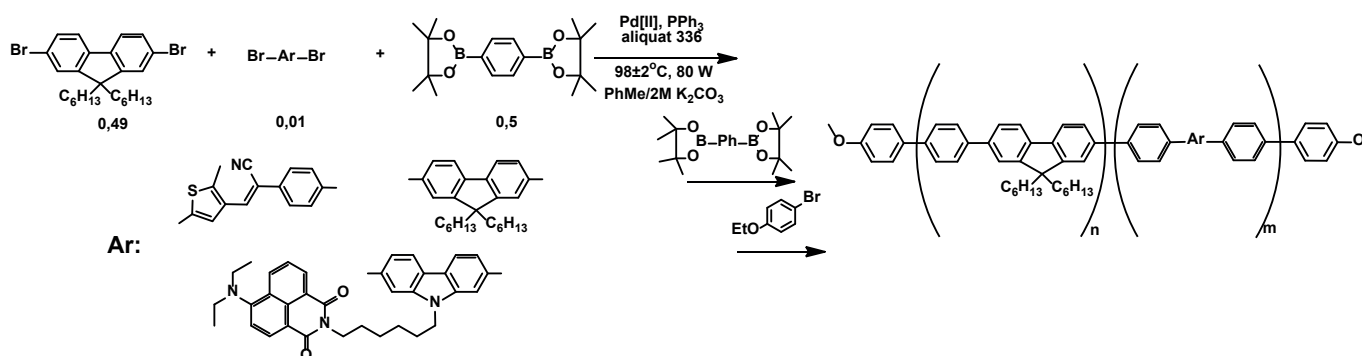


Схема 1. Поликонденсация по Сузуки.

В качестве сомономеров мы использовали дибромпроизводные, отличающиеся своей реакционной способностью в реакции Сузуки. Был получен ряд полимеров с высокими выходами и изучены их молекулярно-массовые характеристики и фотофизические свойства.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 23-43-00060).

### Ссылки

[1] Luzyanin, K.V., Tskhovrebov, A.G., Carias, M.C., Guedes da Silva, M.F.C., Pombeiro, A.J.L., Kukushkin, V.Yu. Novel Metal-Mediated (M = Pd, Pt) Coupling between Isonitriles and Benzophenone Hydrazone as a Route to Aminocarbene Complexes Exhibiting High Catalytic Activity (M = Pd) in the Suzuki-Miyaura Reaction / Organometallics. – 2009. № 28, –

УДК 678. 842

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКОНОВЫХ ЭКЗОПРОТЕЗОВ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ МАСТЭКТОМИИ

**Янов В.В., Зенитова Л.А.**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Россия  
mail: Liubov\_zenitova@mail.ru*

Экзопротез молочной железы представляет собой изделие из силиконового геля телесного цвета в оболочке из полиуретановой пленки. Он придает телу женщины сбалансированную форму и уменьшает нагрузку на плечевой пояс, а также удачно имитирует натуральную грудь.

В рамках федерального проекта «Передовые инженерные школы» ГП РФ «Научно-технологическое развитие РФ» на 2024 год, приказ МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 2.02.2024 года №121 поставлена задача разработать импортозамещающую технологию изготовления экзопротезов.

Оценены показатели промышленно выпускаемых силиконов и выбрано направление исследования на получение силиконов медицинского применения на платиновом катализаторе.

Наряду с технологией получения силиконового материала в качестве наполнителя экзопротезов исследование направлено на разработку оболочки из полиуретановой пленки.

Исследование имеет два направления: изготовление полиуретановой пленки методом полива, а также получение пленки из полиуретанового термоэластопласта методом раздува.

УДК 541.64:539.3

## МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА НАУЧНОЙ ПЛАТФОРМЕ КРЕЙЗИНГА

**Ярышева А.Ю.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 3  
E-mail: alyonusha@gmail.com*

Деформирование аморфных стеклообразных и частично кристаллических полимеров в физически активных жидких средах (ФАЖС) реализуется по механизму крейзинга и сопровождается развитием фибриллярно-пористой структуры с иерархическим микро- и нанорельефом. Растворенные в ФАЖС низко- и высокомолекулярные соединения при определенных условиях способны проникать в поры деформируемого полимера-матрицы с формированием нанокомпозитов.

Методом крейзинга получены нанокомпозиты на основе гидрофобных полимеров (полиэтилентерефталат, полиэтилен высокой плотности, полипропилен, поликапролактон) с высоким содержанием (до 45 мас.%) гидрофильных соединений (полиэтиленоксид, поливинилпирролидон, поливиниловый спирт, желатин) и водоотталкивающих добавок (алифатические углеводороды C<sub>20-22</sub>, фторкарбоновые смолы). Состав полученных нанокомпозитов зависит от исходной надмолекулярной структуры полимера, условий деформирования пленок/волокон и концентрации вводимого компонента в растворе.

Установлено, что введение гидрофильных/гидрофобных соединений позволяет варьировать краевой угол смачивания полимеров от 30 до 130° в зависимости от содержания и природы модификатора. Формирование высокоразвитого микро- и нанорельефа приводит к реализации разных режимов смачивания (от гомогенного Венцеля до гетерогенного Касси-Бакстера и состояния «пропитки» Касси), в том числе с анизотропией и высоким гистерезисом смачивания для полимеров, деформированных по механизму классического крейзинга. Поверхностное структурообразование сопровождается усилением адгезионных свойств исследуемых полимеров, что проявляется в возникновении эффекта лепестков - «petal effect». Возможность в одностадийном процессе изменить химическую природу и сформировать рельеф поверхности дает основание рассматривать крейзинг как эффективный подход к модификации физико-химических свойств полимеров и позволяет расширить область их практического применения в качестве сорбентов, биомедицинских, паропроницаемых «дышащих», упаковочных и укрывных материалов.

### **Благодарность**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-23-00180).





**ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
КАРГИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ПОЛИМЕРЫ – 2024»**

**1-3 ИЮЛЯ 2024 ГОДА**