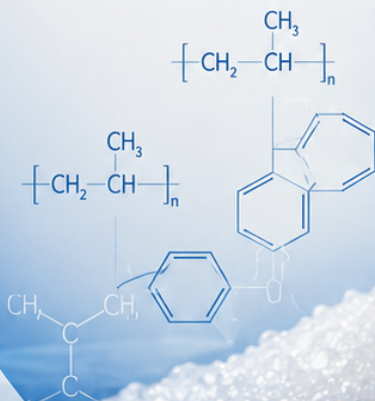


ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА, МОДИФИКАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Тезисы докладов
X Всероссийской (заочной)
научной конференции
(г. Уфа, 2 июня 2026 г.)



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА, МОДИФИКАЦИИ
И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ**

*Тезисы докладов
X Всероссийской (заочной) научной конференции
(г. Уфа, 2 июня 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

*Публикуется по решению кафедры высокомолекулярных соединений
и общей химической технологии УУНТ.
Протокол № 11 от 10.06.2026 г.*

Редакционная коллегия:

д-р хим. наук, профессор **Е. И. Кулиш** (отв. редактор);
д-р хим. наук, профессор **В. П. Захаров**;
д-р хим. наук, профессор **С. В. Колесов**;
д-р хим. наук, профессор **Р. М. Ахметханов**;
канд. техн. наук, доцент **А. А. Псянчин**;
канд. хим. наук, доцент **В. В. Чернова**;
канд. хим. наук, доцент **А. С. Шуршина**;
канд. хим. наук, доцент **М. В. Базунова**;
канд. хим. наук, ст. преподаватель **Д. В. Стяжкин**;
ассистент **Б. Ф. Алмаев**;
ассистент **Э. Р. Бакирова**

Теоретические и экспериментальные исследования процессов синтеза, модификации и переработки полимеров: сборник тезисов докладов X Всероссийской (заочной) научной конференции (г. Уфа, 2 июня 2026 г.) / отв. ред. Е. И. Кулиш [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2026. – 112 с. – URL: <https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2026/180.pdf> – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6445-3

В сборнике обсуждаются такие современные направления, как математическое моделирование процессов синтеза, модификации и переработки полимеров, контролируемая радикальная полимеризация, исследование наноразмерных гетероструктур на основе полимерных и композиционных материалов и создание на их основе солнечных элементов, химических и бионаносенсоров, инновационных полимерных материалов для фармакологии и медицины. Рассмотрены теория и практика создания биodeградируемых полимерных материалов на основе возобновляемого сырья, энерго- и ресурсосберегающие технологии при синтезе и переработке высокомолекулярных соединений.

Предназначено для студентов и аспирантов химических направлений вузов, а также для молодых ученых. Тексты воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 541.6
ББК 24.7

ISBN 978-5-7477-6445-3

© Уфимский университет, 2026

СЕКЦИЯ №1. СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПИРРОЛА И ПРОИЗВОДНЫХ АНИЛИНА

Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г.

Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Россия, Башкортостан, Уфа.

Сегодня область электропроводящих полимеров представляет собой активно развивающееся направление. Среди полимеров данного класса полианилин (PANI) и полипиррол (PPy) являются наиболее привлекательными и перспективными материалами благодаря экологической стабильности, низкой стоимости синтеза и широкому спектру физико-химических свойств [1,2]. Однако применение этих материалов имеет определённые ограничения. Дальнейшее расширение областей их использования требует создания материалов с улучшенными и/или комбинированными характеристиками.

Одним из эффективных подходов является синтез сополимеров на основе различных мономеров. Такая стратегия позволяет преодолеть недостатки гомополимеров и объединить полезные свойства каждого компонента, что открывает путь к получению материалов с улучшенными характеристиками для применения в электрохимических устройствах, сенсорике и других областях.

В настоящей работе нами продемонстрирована возможность получения сополимеров пиррола и анилина (включая его производные) в различных мольных соотношениях (9:1, 1:1, 1:9) (Схема 1).

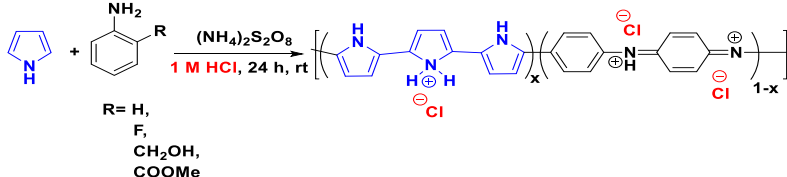


Схема 1. Синтез сополимеров

Работа выполнена по теме госзадания № 125020601600-9

Список использованных источников

1. An-ning M. et al. Electrochemical synthesis and energy storage study of aniline-pyrrole conductive copolymer electrode. Journal of Energy Storage. – 2023. – V. 72. – P. 108242.
2. Singh N. et al. Recent trends on synthetic approaches and application studies of conducting polymers and copolymers: a review. Polymer Bulletin. – 2022. – V. 79 (12) – P. 10377-10408.

© Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г., 2026

КОНТРОЛИРУЕМАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТАКРИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ 10-НАФТИЛФЕНОТИАЗИНА.

Ашихмина Ю.А., Кальтенберг Н.А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н. И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород.

На сегодняшний день перспективным направлением контролируемого синтеза макромолекул является полимеризация с переносом атома с участием безметалловых катализаторов, известная как Metal-Free Atom Transfer Radical Polymerization. Полимеры, не содержащие следов металлов, активно применяются в электронике и биомедицине. В данной работе была проведена сополимеризация метилметакрилата (ММА) с глицидилметакрилатом (ГМА) и бензилметакрилатом (БнМА) в среде N,N-диметилформамида. В качестве инициатора был использован бифункциональный этилен-бис(2-бромизобутират) (2F-BiB), а роль фотокатализатора выполнял 10-нафтилфенотиазин (Naph-PTZ). Мольное соотношение компонентов составило $[MMA+мономер]:[2F-BiB]:[Naph-PTZ] = 100:1:0.1$, $[MMA]:[мономер] = 1:1$. Процесс сополимеризации проводился в запаянных ампулах под действием УФ-излучения. В результате были получены образцы с соответствием теоретически рассчитанной и среднечисловой молекулярных масс и узкой дисперсностью (рис. 1). Практической ценностью данной работы является возможность применения полученных сополимеров для создания основ современных фоторезистов.

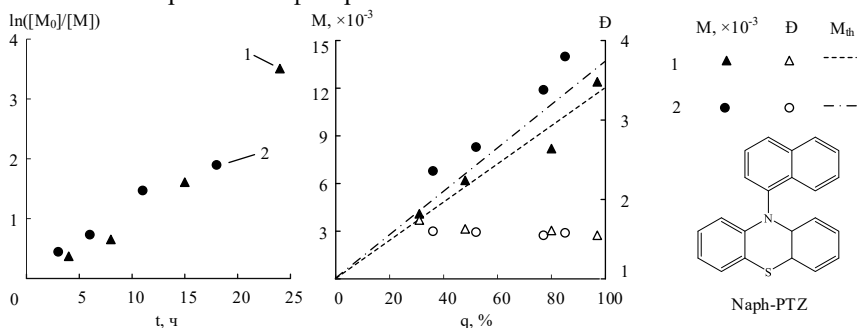


Рис. 1. Кинетические зависимости (а) и зависимости молекулярно-массовых характеристик полимеров от конверсии (б) при сополимеризации ММА с ГМА (1) и БнМА (2), $\lambda = 365$ нм. M_{th} – теоретически рассчитанные

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 25-13-00029).

© Ашихмина Ю.А., Кальтенберг Н.А., 2026

ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ МЕТАКРИЛОВЫХ ЭФИРОВ
В ПРИСУТСТВИИ СИСТЕМЫ ЙОДИСТЫЙ ЦИАНИЗОПРОПИЛ / ТЕТРА-
Н-БУТИЛАММОНИЙ ЙОДИД

Борисова Д.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б.
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

Полимеризация с переносом атом йода является важным направлением контролируемого синтеза макромолекул с заданным составом и характеристиками. Преимущества, характерные для данного процесса, делают ее привлекательной для широкого применения в контролируемой радикальной полимеризации.

Целью данной работы стало изучение влияния системы йодистый цианизопропил (CP-I) / тетра-*n*-бутиламмоний йодид ($\text{Bu}_4\text{N}^+\text{I}^-$) на полимеризацию метакриловых эфиров метилметакрилата (ММА), бензилметакрилата (БзМА) и феноксизтилметакрилата (ФЭМА) в условиях облучения светом видимой области спектра ($\lambda_{\text{исп}} \sim 450 / 510$ нм), а также возможность синтеза полимеров с заданными молекулярно-массовыми характеристиками.

Установлено, что в присутствии системы CP-I / $\text{Bu}_4\text{N}^+\text{I}^-$ полимеризация ММА, БзМА и ФЭМА протекает до глубоких степеней превращения (конверсия мономера составляет $\sim 90\%$ и выше) вне зависимости от концентрации реагентов в системе. Среднечисленная молекулярная масса (M_n) полимерных образцов линейно возрастает с ростом степени превращения мономера. Линейный рост M_n с увеличением конверсии сохраняется в широком диапазоне ММ. При этом образцы характеризуются низкими значениями коэффициентов полидисперсности ($\bar{D}$) на уровне ~ 1.15 - 1.20 даже на глубоких степенях превращения. Следует отметить, что теоретически рассчитанные ММ хорошо согласуются с ММ полученными в ходе эксперимента. Такая тенденция характерна для каждого из мономеров вне зависимости от концентрации инициатора.

Для подтверждения обратимого взаимодействия компонентов системы полученные полимерные образцы были апробированы в качестве макроинициатора (МИ) для синтеза постполимеров и блок-сополимеров. Показано, что каждый из полиметакрилатов способен выступать в качестве МИ. При этом варьируя соотношения компонентов системы можно получать продукты сополимеризации в широком диапазоне ММ с низкими значениями $\bar{D}$ на уровне ~ 1.10 - 1.20 .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 25-13-00025).

© Борисова Д.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б., 2026

СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА И АНИЛИНА СОДЕРЖАЩИХ ГАЛОГЕНЗАМЕЩЕННЫЕ ГРУППЫ

Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г.
Уфимский институт химии Российской Академии Наук, Россия,
Республика Башкортостан, Уфа.

Полианилин (PANI), среди проводящих полимеров занимает особое место благодаря своим уникальным свойствам. Однако, PANI, особенно в легированной форме, характеризуется некоторыми недостатками, что затрудняет его обработку. Для улучшения технологических характеристик PANI применяют несколько методов, такие как модификация структуры путем введения заместителей в ароматическое кольцо или аминогруппу анилина, что, к сожалению, снижает проводимость полимера. Для минимизации негативного влияния заместителей на электропроводность полимера все большее внимание уделяется сополимеризации анилина с другими замещенными анилинами.

В настоящей работе десять сополимеров были получены путем химического окисления анилина и соответствующего замещенного анилина (в молярных соотношениях 9:1 и 1:1) с использованием персульфата аммония (APS) в качестве окислителя. Общая структура синтезированных сополимеров представлена на рисунке 1.

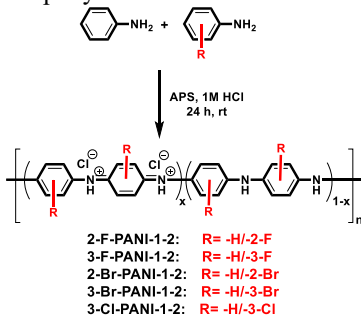


Рис 1. Синтез сополимеров

Работа выполнена по теме госзадания № 125020601600-9

Список использованных источников

1. Zaidi N. A. Alkyl substituent effects on the conductivity of polyaniline. *Advanced Functional Materials*. – 2004. – V. 14(5). – P. 479-486.
2. Mustafin A. G. et al. Polymerization of new aniline derivatives: synthesis, characterization and application as sensors. *RSC advances*. – 2021. – V. 11(34). – P. 21006-21016.

© Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г., 2026

КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ
УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.

«ТОО Институт органического синтеза и углехимии РК», Казахстан,
Караганда.

Разработка композитных материалов с углеродными наполнителями является актуальной областью современного материаловедения и нанотехнологий, поскольку их введение в матричную систему позволяет существенно изменить физико-химические, структурные и термические свойства материалов [1]. В работе синтезирован композит на основе гуминовых кислот и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), полученные методом ультразвуково-интенсифицированного совместного осаждения. На рисунке 1 приведена графическая схема синтеза композитного материала, состоящая из 3-х этапов.

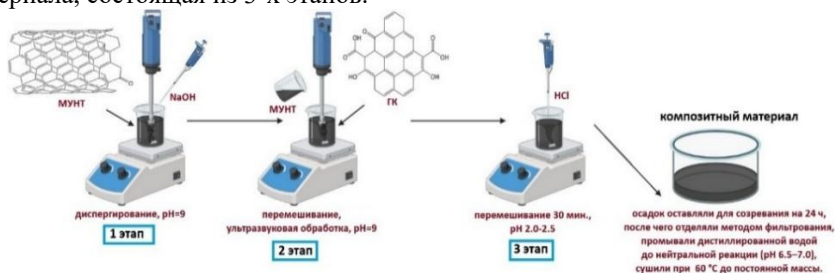


Рис. 1. Графическая схема синтеза композита ГК:МУНТ

Полученный композитный материал характеризуется развитой поверхностной структурой и улучшенными термическими свойствами, что позволяет рассматривать его как перспективный сорбционный материал для очистки сточных вод и водных сред от загрязняющих веществ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программа № BR24992921) “Разработка инновационных технологий получения новых органических веществ и композитных материалов из отходов угледобывающих и углехимических предприятий Казахстана”.

Список использованных источников

1. Muldakhmetov Z.M., Gazaliev A.M., Zhakina A.Kh., Vassilets Ye.P., Arnt O.V. Synthesis of a composite based on humic acid tuned to sorbed copper ion. Bulletin of the University of Karaganda Chemistry. – 2022. – № 4(108). – P. 182-189. <https://doi.org/10.31489/2022Ch4/4-22-14>.

© Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М., 2026

УДК 541.64

КОНТРОЛИРУЕМАЯ РАДИКАЛЬНАЯ СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА С ДИМЕТИЛИТАКОНАТОМ И МЕТИЛАКРИЛАТОМ В УСЛОВИЯХ ARGET ATRP

Киселева А.П., Кузнецова Ю.А., Гришин И.Д.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Контролируемая радикальная полимеризация по механизму с переносом атома (ATRP) (рис.1) является эффективным инструментом для получения высокомолекулярных соединений с заданным строением и молекулярно-массовыми характеристиками. Одной из потенциальных областей применения узкодисперсных полимеров на основе акрилонитрила, получаемых данным методом, является их использование в качестве прекурсоров углеродных волокон. Известно, что для достижения высокого качества конечного углеродного волокна необходимо использовать в качестве прекурсоров сополимеры акрилонитрила с небольшими добавками метилакрилата и диметилитаконата, введение которых позволяет существенно снизить экзотермичность процесса окисления ПАН-прекурсора.

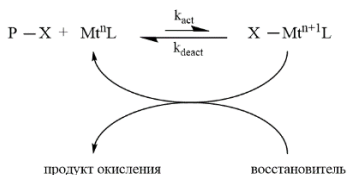


Рис. 1 Схема полимеризации по механизму ARGET ATRP.

В работе была проведена контролируемая статистическая сополимеризация акрилонитрила с диметилитаконатом и метилакрилатом под действием каталитической системы на основе комплекса бромид меди (II) с бис[2-хинолилметил]-2-пиридилметиламином (БХПА). Полимеризацию проводили в среде диметилсульфоксида (ДМСО), как растворителя. В качестве органических восстановителей, переводящих неактивную форму катализатора в активную, была использована сегнетова соль ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$). Галогенсодержащими инициаторами были выбраны четыреххлористый углерод (CCl_4) и этиленбис(2-бромизообутират) (2f-BiB), являющийся бифункциональным инициатором. В качестве модифицирующих свойства сополимера мономеров вводили диметилитаконат (ДМИ) и метилакрилат (МА) в количестве 1 и 2 мол. % соответственно. Соплимеризацию проводили в запаянных дегазированных ампулах при температуре 60 °С.

На рисунке 2 приведены зависимости конверсии мономера от времени протекания процесса для сополимеризации АН с МА и ДМИ, протекающей в присутствии хлор- и бромсодержащих инициаторов и различных мольных

соотношениях между БХПА и в мольном соотношении $\text{CuBr}_2/\text{БХПА}$. Показано, что природа инициатора не оказывает существенного влияния на скорость протекания процесса. Вместе с тем, увеличение содержания азотсодержащего лиганда приводит к заметному увеличению скорости и глубины превращения мономера.

Приведенные на рисунке 3 зависимости молекулярно-массовых характеристик полимеров от конверсии характерны для контролируемых процессов. Наблюдается линейный рост среднечисленных значений молекулярных масс с ростом конверсии в хорошем соотношении с теоретически рассчитанными значениями. Сополимеры с наибольшими значениями молекулярной массы были получены при использовании системы, содержащей в качестве инициатора 2f-BiВ, характеризующейся мольным соотношением $\text{CuBr}_2/\text{БХПА}$, равным 0,24 : 2,3. ММ достигла 127,2 кДа уже на 15 часу полимеризации при степени превращения мономера равной 63%. Дисперсность полученных образцов не превышают 1.7. При этом наиболее узкодисперсные образцы были проучены при использовании в качестве инициатора четыреххлористого углерода.

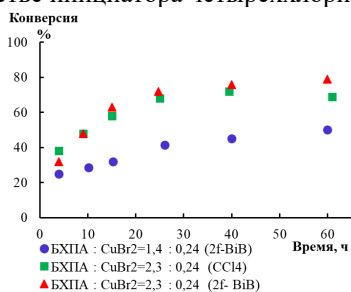


Рис.2. Зависимости конверсии от времени сополимеризации АН с ДМИ и МА в присутствии различных инициаторов. Т = 60 °С.

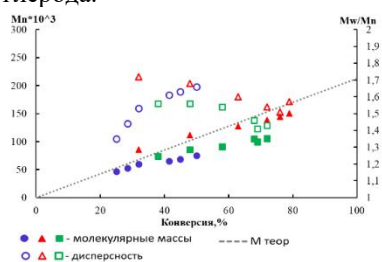


Рис.3. Зависимости ММ (M_n) и параметра полидисперсности образцов (M_w/M_n) от конверсии при сополимеризации АН с ДМИ и МА.

● $[\text{АН}] : [\text{ДМИ}] : [\text{МА}] : [2\text{f-BiВ}] : [\text{БХПА}] : [\text{CuBr}_2] : [\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$
 = 4000 : 40 : 80 : 1 : 1.4 : 0.24 : 1.2

▲ $[\text{АН}] : [\text{ДМИ}] : [\text{МА}] : [2\text{f-BiВ}] : [\text{БХПА}] : [\text{CuBr}_2] : [\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$
 = 4000 : 40 : 80 : 1 : 2.3 : 0.24 : 1.2

■ $[\text{АН}] : [\text{ДМИ}] : [\text{МА}] : [\text{CCL}_4] : [\text{БХПА}] : [\text{CuBr}_2] : [\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$
 = 4000 : 40 : 80 : 1 : 2.3 : 0.24 : 1.2

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 25-13-00029).

© Киселева А.П., Кузнецова Ю.А., Гришин И.Д., 2026

УДК 541.64

КОМПЛЕКСЫ МЕДИ С БИС[2-ХИНОЛИЛМЕТИЛ]-2-ПИРИДИЛМЕТИЛАМИНОМ В КОНТРОЛИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТАКРИЛОВЫХ МОНОМЕРОВ

Кузнецова Ю.А., Киселева А.П., Гришин И.Д.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Контролируемая радикальная полимеризация по механизму с переносом атома (ATRP) является мощным инструментом для синтеза полимеров с заданной молекулярной массой, узким молекулярно-массовым распределением и сложной архитектурой. Разработка новых эффективных и доступных каталитических систем, отвечающих современным экологическим требованиям, является ключевой задачей для расширения возможностей синтеза функциональных материалов и их последующего внедрения в промышленность. Одним из способов управления каталитической активностью комплекса переходного металла является изменение структуры лигандов, приводящих к изменению стерических и электронных факторов. В данной работе нами синтезирован комплекс бромида меди (CuBr_2) с бис[2-хинолилметил]-2-пиридилметиламином (БХПА) и исследованы особенности применения его в катализе полимеризации по механизму AGET ATRP (схема 1)

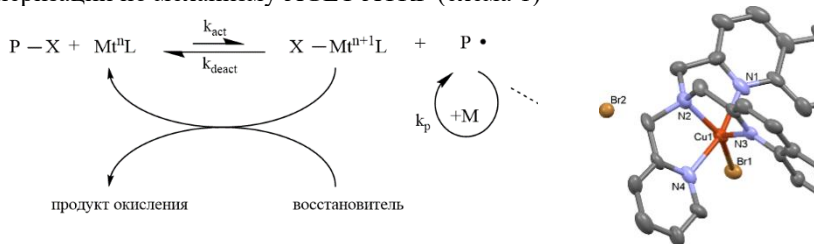


Рис. 1 Схема полимеризации по механизму AGET ATRP

В работе были исследованы особенности полимеризации ряда метакриловых мономеров (метилакрилата (ММА), этилметакрилата (ЭМА), бутилметакрилата (БМА) и бензилметакрилата (БЗМА)) под действием каталитической системы на основе комплекса CuBr_2 /БХПА. Инициатором служил четыреххлористый углерод, в качестве восстановителя, переводящего неактивную форму катализатора в активную, выступал изопропиламин ($\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$).

Результаты проведенных экспериментов по полимеризации ММА позволили установить зависимость конверсии мономера и молекулярно-массовых характеристик полученных образцов от соотношения между компонентами каталитической системы. Показано, что снижение количества восстановителя (изопропиламина) вдвое ведет к падению конверсии

мономера, что объясняется затуханием полимеризации из-за накопления неактивной формы катализатора Cu(II) . Напротив, при уменьшении количества мономера вдвое при сохранении количества восстановителя конверсия возрастает. В независимости от соотношения между концентрациями катализатора и восстановителя, наблюдается близкая к линейной зависимость молекулярной массы от конверсии, характерная для процессов контролируемой радикальной полимеризации. Значения дисперсности образцов полимеров постепенно снижаются с ростом конверсии и находятся в диапазоне от 1,4 до 1,8.

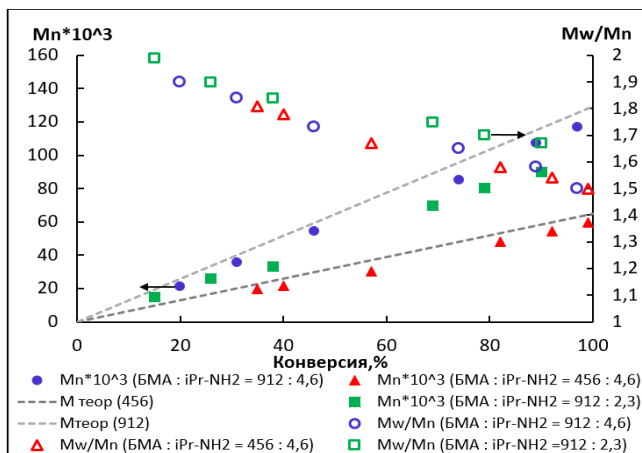


Рис. 2. Зависимости ММ (заполненный маркер) и дисперсности (пустой маркер) от конверсии при полимеризации ММА в присутствии различного количества мономера и восстановителя при использовании катализатора $\text{CuBr}_2/\text{БХПА}$. Сплошные линии – теоретические значения молекулярной массы.

Полимеризация других метакриловых мономеров (БЗМА, ЭМА и БМА) в присутствии выбранной каталитической системы характеризуется аналогичными зависимостями, характерными для процессов контролируемого синтеза полимеов. Это позволяет говорить о высокой эффективности применения предложенных систем даже при их использовании в низких концентрациях для полимеризации широкого круга метакриловых мономеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 25-13-00029).

© Кузнецова Ю.А., Киселева А.П., Гришин И.Д. , 2026

УДК 678.019.3:(678.746.222+678.744.335)

СИНТЕЗ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АЛКОКСИАМИНОВ
МЕТОДАМИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ
И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТАБИЛЬНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Ласкова Е.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

Высокомолекулярные алкоксиамины (ВАА) являются перспективными макроинициаторами для получения блок-сополимеров в условиях контролируемой радикальной полимеризации. Положение лабильной связи С–ОН в полимерной цепи определяется способом их получения и оказывает влияние на топологию продуктов. В настоящей работе проведено сопоставление двух методов синтеза ВАА и исследование их способности к распаду под действием температуры, ультразвука (УЗ) и УФ-излучения.

Синтез ВАА проводили на основе стирола (СТ) и метилметакрилата (ММА): *in situ* полимеризацией по механизму Nitroxide-Mediated Radical Polymerization (NMP) при 70-110 °С с инициатором ДАК и в присутствии С-фенил-N-трет.бутилниитрона (ФБН), а также постполимеризационной модификацией бромсодержащего полистирола по механизму Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling (RTA-ATRC) при 80 °С с участием ФБН и каталитической системы CuBr/Cu(0)/азотсодержащий лиганд.

Исследование стабильности проводили при воздействии высокой температуры (130°С), УЗ (19.4-22.8 кГц) и УФ-излучения (лампа ДРТ 1000, $\lambda=100-400$ нм). Термолиз ВАА на основе СТ при 130 °С показал, что продукты NMP имеют асимметричное строение (соотношение фрагментов ~2:1), тогда как образцы, полученные постмодификацией, симметричны. Показано, что при воздействии УЗ и УФ-излучения на полистирол, полученный методом ATRP, полимер практически не разрушается. В то же время ВАА на основе полистирола, синтезированные различными методами, подвергаются селективному распаду по С–ОН связи, о чем свидетельствует снижение молекулярной массы продуктов распада. Для ПММА, полученного методом *in situ* NMP, разрушение под действием и УЗ, и УФ-излучения протекает быстрее, молекулярная масса снижается в 5 раз по сравнению с исходным образцом.

На примере полистиролсодержащих ВАА показана возможность направленного разрыва лабильной связи С–ОН в ВАА под действием мягких физических факторов с регенерацией макрорадикалов, что открывает путь к синтезу блок-сополимеров при умеренных температурах.

© Ласкова Е.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф., 2026

УДК 541.64

ТЕРМИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА С УЧАСТИЕМ
3,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛ-О-БЕНЗОХИНОНА И АЦЕТИЛАЦЕТОНАТОВ
МЕТАЛЛОВ VIII ГРУППЫ

Лимонова Н.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б.
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород.

Одним из перспективных направлений полимерной химии является использование систем на основе хинонов и ацетилацетонатов металлов, которые демонстрируют уникальную двойственность механизмов действия. С одной стороны, комбинация *о*-хинонов и каталитических количеств ацетилацетонатов металлов лежит в основе метода QTRP. С другой стороны, хиноны, особенно стерически затрудненные, являются редокс-активными лигандами.

Целью данной работы было изучение процесса полимеризации стирола (СТ) в присутствии сочетания 3,5-ди-*трет*-бутил-*о*-бензохинона (3,6-Q) с ацетилацетонатом кобальта(II) (Co(асас)₂) или ацетилацетонатом никеля(II) (Ni(асас)₂) при 110°C. В качестве восстановителя использовался 2,2'-бипиридин (bipy).

Сочетание 3,6-Q / Met(асас)₂ снижает и общую скорость процесса, и степень превращения мономера относительно процессов автополимеризации СТ. Вне зависимости от состава ацетилацетоната график зависимости среднечисленной молекулярной масс (M_n) от степени превращения мономера имеет 2 участка с разным темпом увеличения ММ, при этом после ~ 15% ММ возрастает практически линейно. Численные значения ММ полиСТ, полученные в присутствии системы Ni(асас)₂ / 3,6-Q, оказываются несколько ниже, чем в случае Co(асас)₂ / 3,6-Q. Значения коэффициентов полидисперсности (Đ) не меняются на протяжении всего времени синтеза и составляют ~ 1.6 для каждого из сочетаний хинон / Met(асас)₂.

При использовании системы 3,6-Q / Ni(асас)₂ / bipy выход полиСТ близок к предельному и составляет ~ 95%. Зависимость M_n от конверсии мономера приобретает линейный вид для каждого из Met(асас)₂. Следует отметить, что в случае использования 3,6-Q и Co(асас)₂ в сочетании с bipy полученные значения M_n хорошо согласуются с теоретически рассчитанными.

Таким образом, для получения полиСТ с целевыми молекулярно-массовыми характеристиками Co(асас)₂ в сочетании с 3,6-Q оказывается предпочтительнее, чем Ni(асас)₂.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-13-00025).

© Лимонова Н.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б., 2026

УДК 541.64

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА
ПРИ СОЧЕТАНИИ С ФЕНИЛИКОЗАН-1,3-ДИОНОМ

Масагутова Э.А., Псянчин А.А., Нафикова Р.Ф., Мазина Л.А.,
Ахметханов Р.М.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия, Уфа

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет»,

Стерлитамакский филиал, Россия, Стерлитамак

Поливинилхлорид (ПВХ) является незаменимым крупнотоннажным полимером и по объемам производства входит в тройку самых востребованных термопластов в мире.

Фундаментальным физико-химическим недостатком ПВХ является его низкая собственная термостабильность. Интенсивная макрокинетическая деградация полимера начинается уже при 100-120°C, тогда как температуры его промышленной переработки лежат в диапазоне 170-200°C. Причина низкой термоустойчивости ПВХ требует постоянного поиска новых способов его стабилизации, в т. ч. и поиск новых стабилизирующих добавок [1].

В современной технологии переработки ПВХ, характеризующейся глобальным переходом к экологически безопасным бескадмиевым и бессвинцовым рецептурам, первостепенное значение приобрели полностью органические со-стабилизаторы [1].

Среди множества исследованных классов органических добавок высокую практическую значимость проявил фениликозан-1,3-дион, в производственной практике носящий название стеаромлбензоилметан (СБМ). Стеароилбензоилметан является одним из важных коммерческих органических со-стабилизаторов, применяемых в современной промышленности переработки ПВХ, особенно в рецептурах, не содержащих тяжелых металлов, одновременно выполняя функции цветостабилизатора [2]. Химически это соединение относится к классу 1,3-дикетонов (β -дикетонов) и часто упоминается в литературе как фениликозан-1,3-дион (рисунок 1):

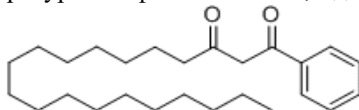


Рис. 1 фениликозан-1,3-дион

В представленной работе изучены закономерности термического и термоокислительного дегидрохлорирования жесткого и пластифицированного ПВХ в присутствии СБМ.

Показано, что в рецептурах ПВХ СБМ оказывает незначительное акцептирующее действие в отношении элиминирующего HCl.

В условиях термической деструкции ПВХ в атмосфере азота СБМ замедляет скорость дегидрохлорирования полимера в 2-2,5 раза.

Одной из стабилизирующих функций СБМ связана с разрушением дефектных структур макромолекулы за счет их химической модификаций по следующей схеме (рисунок 2):

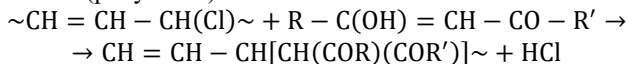


Рис. 2. Схема химической модификации

Замещение нестабильного атома хлора на стерически громоздкую дикетонную группу прерывает систему сопряжения двойных связей и останавливает рост хромофорных полиенов, что положительно влияет на цветоустойчивость ПВХ при его термораспаде.

Установлено, что сочетание СБМ с 0,01 масс.ч/100 масс.ч. ZnCl_2 приводит к повышению стабилизирующей эффективности органической добавки.

Показано, при термоокислительной деструкции ПВХ в атмосфере воздуха или кислорода, стеароилбензоилметан сохраняет свою высокую стабилизирующую эффективность.

Введение стеароилбензоилметана в ПВХ, пластифицированный диоктилфталатом или диоктилсебацинатом также приводит к замедлению процесса термоокислительного дегидрохлорирования полимера. При этом следует отметить, что в сравнении с деструкцией ПВХ в отсутствие пластификаторов СБМ в пластифицированном полимере проявляет меньшую стабилизирующую эффективность.

При изучении свойств пластифицированной ПВХ композиции для пищевых пленочных покрытий в присутствии СБМ подтверждена его высокая цветостабилизирующая эффективность.

Список использованных источников

1. Yuan H., Kalfas G., Ray W. H. Suspension polymerization // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. — 1991. — Vol. 31, No. 2-3. — P. 215–299.
2. Burley J. W. Recent Advances in the Stabilization of Flexible and Semirigid PVC // Journal of Vinyl & Additive Technology. — 1996. — Vol. 2, No. 4. — P. 282–286.

© Масагутова Э.А., Псянчин А.А., Нафикова Р.Ф., Мазина Л.А.,
Ахметханов Р.М., 2026.

УДК 541.64

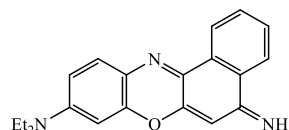
ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТИРОЛА С УЧАСТИЕМ НЕЙТРАЛЬНОЙ ФОРМЫ НИЛЬСКОГО СИНЕГО

Рыхлова А.С., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

Синтетические красители в растворе существуют в различных формах, одна из которых радикальная. Существование данной формы позволяет предположить возможность использования данных соединений в качестве регулятора полимеризации по схеме обратимого ингибирования.

Целью данной работы стало изучение влияния нильского синего в нейтральной форме (HC^0) на полимеризацию стирола (СТ) при $110^\circ C$ и при облучении общим белым светом с $\lambda_{исп} \sim 400-700$ нм.



*Нильский синий в
нейтральной форме (HC^0)*

Согласно полученным данным, в условиях термического инициирования HC^0 приводит к снижению общей скорости процесса автополимеризации СТ, при этом зависимость выхода полимера от времени синтеза приобретает линейный вид. Среднечисленная молекулярная масса (M_n) полиСТ линейно возрастает с ростом конверсии мономера, а значения коэффициентов полидисперсности ($\bar{D}$) плавно снижаются от ~ 2.0 до ~ 1.6 .

В условиях облучения светом с $\lambda \sim 400-700$ нм, выход полимерного продукта при автополимеризации составляет $\sim 11\%$ за 20 часов. Введение HC^0 также приводит к увеличению общей скорости полимеризации, и выхода полимера за одинаковый промежуток времени. В случае автополимеризации M_n полиСТ снижается по ходу процесса полимеризации от ~ 420 до ~ 340 кДа. Использование HC^0 приводит к линейному росту M_n полимерного продукта с увеличением конверсии мономера. При этом значения $\bar{D}$ составляют ~ 1.9 .

Для подтверждения обратимости взаимодействия феноксазинильных радикалов и макрорадикалов полученные полимеры были апробированы в роли макроинициатора (МИ) для получения постполимеров. Вне зависимости от условий синтеза продукты постполимеризации характеризуются большими значениями ММ и унимодальными кривыми молекулярно-массового распределения (ММР). Унимодальность кривых ММР и смещение их в область больших молекулярных масс свидетельствует о линейном удлинении макромолекул ПСТ-инициатора.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 25-13-00025).

© Рыхлова А.С., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б., 2026

УДК 678.02:66.097:(678.746.222+678.744.325+678.744.335)

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ПРОЦЕССЫ РАДИКАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ПОЛИМЕРОВ ВИНИЛОВОГО РЯДА С УЧАСТИЕМ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Солдубаев Г.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

Контролируемые процессы полимеризации с переносом атома (ATRP) и сочетания макрорадикалов, в частности Radical Trap-Assisted Atom Transfer Radical Coupling (RTA-ATRC), представляют собой важные инструменты направленной модификации полимеров и формирования материалов с заданной архитектурой. Одним из факторов, способных существенно влиять на ATRP, является присутствие воды в реакционной системе. Для каталитических систем на основе Cu(I) традиционно вода рассматривается как нежелательная примесь, способная провоцировать протекание побочных реакций, в том числе диспропорционирование и гидролиз катализатора. С другой стороны, вода в ATRP процессах может играть положительную роль, смещая равновесие между Cu(I)/Cu(II) формами и увеличивая скорость процесса.

Было исследовано влияние воды на процессы сочетания макрорадикалов различной природы в среде ТГФ при 80 °С в вакууме на системах: [бромосодержащий полимер] :[CuBr] :[Cu(0)] :[пентаметилдиэтилентриамин] :[С-фенил-N-трет.бутилнитрон]. Показано, что в случае бромосодержащего полистирола (ПС) введение воды в реакционную систему в количестве 10 об. % приводит к увеличению доли продуктов сочетания, что косвенно подтверждает рост вклада активации макрорадикалов. Однако в случае полиметилакрилата (ПМА) и полиметилметакрилата (ПММА) наличие воды приводит к снижению степени сочетания, что обусловлено повышением вероятности обрыва макрорадикалов не рекомбинацией, а диспропорционированием. Введение СТ в системы с ПМА и ПММА позволяет увеличить выход продуктов сочетания. Присутствие воды при сочетании ПМА с участием СТ не оказывает существенного влияния на процесс сочетания, а в случае ПММА наличие воды в системе приводит к существенному снижению степени сочетания.

Установлено, что содержание воды в системах RTA-ATRC приводит к увеличению скорости генерации макрорадикалов, но следует учитывать существенный вклад процессов диспропорционирования. В целом, положительное влияние воды на процессы сочетания макрорадикалов возрастает в следующем ряду ПММА <ПМА <ПС.

© Солдубаев Г.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф., 2026

УДК 541:64

О СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ ГИДРОКСИДА МАГНИЯ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ

Базунова М.В., Табишева Э.И.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Уфа

За последнее время всё чаще изучают полимер-коллоидные системы (ПКД) на основе водорастворимых полимеров и наночастиц ввиду ожидаемых возможностей их использования в медицине, фармацевтике, парфюмерно-косметологической и нефтяной промышленности. Один из примеров: ПКД на основе поли-N-винилпирролидона (ПВП) с неорганическими коллоидными частицами лиофобных зольей, например, золя гидроксида магния. Нанодисперсные частицы гидроксида магния используются в медицине для лечения желудочных болезней. ПВП продлевает действие лекарственных веществ, связывает токсичные вещества, не накапливается в организме и не раздражает слизистую желудка. В рамках работы предложены способы получения и регулирования свойств материалов, полученных на основе ПКД ПВП- $Mg(OH)_2$.

Физико-механические свойства полимерных материалов в значительной мере определяются надмолекулярной структурой. При повышении концентрации полимера в растворе отдельные макромолекулы объединяются в ассоциаты, затем образуют бесконечный кластер, что приводит к повышению вязкости и созданию сетки зацеплений. В ПКД количество зацеплений можно регулировать концентрацией полимера и содержанием наночастиц, влияя на структуру нанокомпозитной матрицы [1].

Зависимость вязкости растворов ПВП и ПКД от концентрации полимера (рис. 1) показывает, что сетка зацеплений в системе ПВП-золь $Mg(OH)_2$ начинает формироваться при меньших концентрациях, чем в чистом ПВП. Причина - самоорганизация полимер-неорганической системы, макромолекулы адсорбируются на поверхности частиц золя гидроксида магния. Согласно данным на рис. 2 (а и б), переход от вязко-упругого к упруго-вязкому поведению в системе ПВП + золь $Mg(OH)_2$ происходит при меньших концентрациях ПВП, чем в чистых водных растворах полимера. При концентрации ПВП 8 мас.% и выше модуль накопления (упругость) превышает модуль потерь (вязкость). Причём для композита с золем $Mg(OH)_2-2$ (с положительно заряженными частицами) модуль накопления выше, чем для $Mg(OH)_2-1$ (с отрицательно заряженными частицами), что указывает на более сильное межмолекулярное взаимодействие за счёт положительно заряженных мицелл золя.

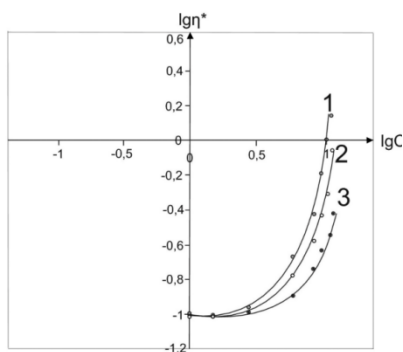
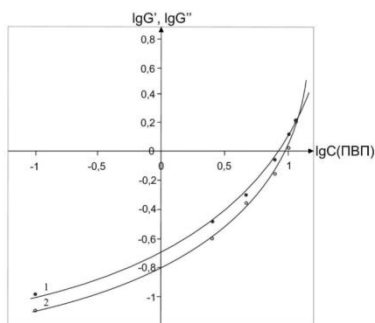
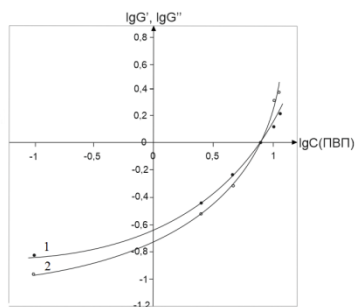


Рис. 1. Зависимость логарифма комплексной вязкости (η^*) раствора ПВП (1) и ПКД на основе золя гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ с отрицательно заряженными частицами (2) и $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-2}$ с отрицательно заряженными частицами (3) от логарифма концентрации полимера



а)



б)

Рис. 2. Зависимость логарифма модуля потерь (1) и логарифма модуля накоплений (2) раствора ПВП (а), ПКД на основе золя гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-1}$ и ПВП (б) и ПКД на основе золя гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-2}$ от логарифма концентрации полимера

Таким образом, механизм стабилизации золя $\text{Mg}(\text{OH})_2$ поливинилпирролидоном включает адсорбцию, гидрофобные и донорно-акцепторные взаимодействия. Это даёт возможность регулировать физико-механические характеристики полимеров, создаваемых на основе данных композитов.

Список использованных источников

1. Базунова, М. В. Стабилизация частиц зелей йодида серебра уксусом и N-сукцинил хитозаном / М. В. Базунова, В. В. Чернова, Е. И. Кулиш // Химическая физика. – 2024. – Т. 43, № 9. – С. 75-83. – DOI 10.31857/S0207401X24090099. – EDN EFWFZC.

© Базунова М.В., Табишева Э.И., 2026

УДК 66.095.2

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА.

Тихомирова В.А., Николаева О.И.

Ивановский государственный химико-технологический университет,
Россия, Иваново

Полиметилметакрилат (ПММА) обоснованно считается уникальным полимером, который стал незаменим во многих отраслях промышленности, как строительство, автомобилестроение, приборостроение, так и в современной медицине. Одно из важных применений ПММА это основа костных цементов. От качества полимерной основы, а именно от ее молекулярно-массовых характеристик зависят конечные свойства цемента. Наиболее подходящим методом получения такой основы является суспензионная полимеризация метилметакрилата. Суспензионная полимеризация представляет собой сложный гетерофазный процесс, стабильность которого обеспечивается введением в систему стабилизаторов. Выбор стабилизатора в этом процессе является критическим [1]. Оптимальный стабилизатор должен не только предотвращать коалесценцию, но и не допускать чрезмерного эмульгирования, которое ведет к появлению высокодисперсной фракции. Формирование прочного структурно-механического барьера, препятствующего образованию таких микрокапель, является залогом получения продукта с предсказуемыми и стабильными молекулярно-массовыми характеристиками [2-4].

Целью данной работы являлось исследование влияния структуры и концентрации полимерного стабилизатора, поливинилового спирта, на молекулярные характеристики синтезируемого ПММА. ПВС использовали с разной степенью гидролиза (от 86 до 99,2%) и разной молекулярной массой (500-3500) (таблица 1).

Таблица 1. Результаты влияния ПВС на свойства ПММА

Наименование образца	Степень гидролиза ПВС, %	ММ ПВС	Концентрация стабилизатора, %	η , дл/г	ММ ПММА
1. ПВС 1	98,5-99,2%	2400	0,4	0,449	68 000
2. ПВС 2	98,5-99,2%	1400	0,4	0,592	106 000
3. ПВС 3	86-89%	3500	0,4	0,377	51 000
4. ПВС 4	86-89%	2400	0,4	0,373	50 000
5. ПВС 4	86-89%	2400	0,3	0,360	47 000
6. ПВС 4	86-89%	2400	0,2	0,613	112 000
7. ПВС 5	86-89%	1400	0,4	0,414	59 000
8. ПВС 6	86-89%	500	0,4	0,442	66 000

Согласно данным таблицы для ПВС 4 (частично гидролизованный, ММ

2400) с концентрацией 0,2% получается ПММА с высокой молекулярной массой (112 000). Это объясняется тем, что при низкой концентрации стабилизатора граница раздела фаз недостаточно защищена, возникает побочная эмульсионная полимеризация, при которой образуется высокомолекулярная фракция. При увеличении концентрации стабилизатора до 0,3–0,4% формируется стабильный структурно-механический барьер, подавляющий гель-эффект и обеспечивающий контролируемый рост цепей, что приводит к снижению молекулярной массы ПММА до 47 000–50 000.

Сравнение образцов ПВС с разной структурой при одинаковой концентрации 0,4% показывает, что полностью гидролизованные ПВС (образцы 1 и 2) приводят к ПММА с молекулярной массой 68 000–106 000, тогда как частично гидролизованные ПВС обеспечивают получение ПММА с молекулярной массой 50 000–59 000. При использовании ПВС 6 получается ПММА с молекулярной массой 66 000, что указывает на начало нежелательного эмульгирования. Так, наилучшие результаты для получения основы костного цемента с контролируемыми свойствами, с необходимой молекулярной массой (50 000–60 000) получаются при использовании частично гидролизованных ПВС при концентрации 0,3–0,4%.

Таким образом, управляя степенью гидролиза и молекулярной массой поливинилового спирта, можно целенаправленно подавлять побочную эмульсионную полимеризацию и получать полимерную основу костного цемента с предсказуемыми стабильными характеристиками.

Список использованных источников

1. Ключин Е.С., Холодова А.А., Сацкевич О.А., Грицкова И.А. Изучение особенностей суспензионной полимеризации метилметакрилата в присутствии полимерных ПАВ // Пластические массы. – 2019. – Т. 1. – № 7-8. – С. 23-25.
2. Ладилова Н.Ю., Куликова Г.Л., Корниенко П.В., и др. Влияние условий суспензионной полимеризации метилметакрилата на гранулометрический состав полимера // Журнал прикладной химии. – 2023. – Т. 96. – № 4. – С. 358-363.
3. Лоскутов О.А., Васильченко Е.В., Амбражей М.Ю. Жесткостные и прочностные характеристики различных марок костного цемента на основе полиметилметакрилата и их изменение со временем // Травма. – 2014. – Т. 15. – № 1. – С. 114-117.
4. Осовская И.И., Новикова А.А. Термопласты. Новейшие достижения в технологии и переработке полимеров. Кейсы и тесты. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – 134 с.

© Тихомирова В.А., Николаева О.И., 2026

УДК 678.02:66.097:678.744.335

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ДЕОКСИГЕНАТОРОВ
В ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА С УЧАСТИЕМ
КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕДИ В ПРИСУТСТВИИ
ВОЗДУХА

Фролов К.Д., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

В последние десятилетие особое внимание уделяется возможности проведения контролируемой радикальной полимеризации на воздухе без дополнительной подготовки системы. Однако синтез полимеров в присутствии кислорода воздуха является труднореализуемым процессом, особенно в промышленных масштабах, так как кислород взаимодействует с растущими макрорадикалами и выступает в роли ингибитора полимеризации. В этой связи поиск систем, позволяющих осуществлять полимеризацию в присутствии воздуха, является важной задачей полимерной химии.

Был исследован процесс полимеризации метилметакрилата (ММА) в присутствии деоксигенаторов, которые способны нивелировать ингибирующее действие кислорода воздуха. Синтез проводили в температурном интервале 30 – 60 °С в присутствии инициатора (этил-2-бромизобутират), каталитической системы на основе CuBr_2 и лиганда (пентаметилдиэтилентриамин), а также деоксигенаторов: метилэтилкетоксима (МЭКО), аскорбиновой кислоты и изоаскорбата натрия.

Установлено, что при использовании в качестве деоксигенатора МЭКО в низкотемпературном режиме полимеризация не реализуется. Использование аскорбиновой кислоты позволяет получать полиметилметакрилат (ПММА) с выходом порядка 30% уже за первые 2 часа независимо от выбранного температурного режима, при этом полимеры характеризуются высокими индексами полидисперсности ($M_w/M_n \approx 3-4$). Однако увеличение времени полимеризации до 23 ч не приводит к возрастанию выхода ПММА. Наличие изоаскорбата натрия в реакционной системе, позволяет получать полимеры с более высокой конверсией по сравнению с вышеописанными деоксигенаторами. Полимеризация протекает с некоторым индукционным периодом, который длится около 5 часов. После завершения индукционного периода выход полимера при 30 °С за 23 часа составляет 40-50%, а при 60 °С – 90%, при этом M_w/M_n составляет значение 1.7. Таким образом, исследуемые деоксигенаторы по эффективности в полимеризации ММА можно расположить в следующем порядке: МЭКО < аскорбиновая кислота < изоаскорбат натрия.

© Фролов К.Д., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф., 2026

СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКРИЛОНИТРИЛА В ПРИСУТСТВИИ
10-ФЕНИЛФЕНОТИАЗИНА В УСЛОВИЯХ MF ATRP

Шадрина М.К., Кальтенберг Н.А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород.

Фотоконтролируемая радикальная полимеризация с переносом атома, известная как MF ATRP, является новым направлением в синтетической химии полимеров. Особенностью метода является использование безметалловых катализаторов по сравнению с традиционным ATRP-процессом, базирующимся на применении комплексов переходных металлов. В настоящее время перспективным направлением является синтез сополимеров акрилонитрила (АН) с различными сомономерами для создания прекурсоров углеродного волокна в условиях контролируемого синтеза для получения образцов заданного состава и молекулярно-массового распределения. В данной работе были получены сополимеры АН с диметилитаконатом (ДМИ) и метилметакрилатом (ММА) по механизму MF ATRP. В качестве катализатора использовали 10-фенилфенотиазин (РТН), а роль инициатора выполнял бифункциональный этилен-бис(2-бромизообутират) (2F-BiB). Мольное соотношение реагентов составляло $[\text{АН}+\text{мономер}]:[\text{2F-BiB}]:[\text{РТН}] = 200:1:0.2$, мольная доля АН по отношению к сомономеру составляла 90 %. Показано, что сополимеризации АН с ДМИ (1) и ММА (2) протекают в контролируемом режиме в соответствии с выбранным механизмом. В обоих экспериментах наблюдается линейный рост молекулярной массы (ММ) с ростом конверсии и ее соответствие теоретически рассчитанным значениям (рис. 1).

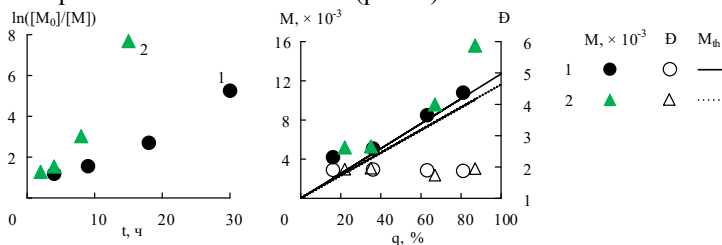


Рис. 1. Кинетические зависимости (а) и зависимости молекулярно-массовых характеристик образцов от конверсии (б) при сополимеризации АН с ДМИ (1) и ММА (2) в присутствии РТН; $[\text{АН}+\text{мономер}]:[\text{2F-BiB}]:[\text{РТН}] = 200:1:0.2$. M_{th} – теоретически рассчитанные ММ.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 25-13-00029).

© Шадрина М.К., Кальтенберг Н.А. 2026

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ НА
ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Щинов В.К., Нафикова Р.Ф., Ахметханов Р.М.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, Россия

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический

университет»,

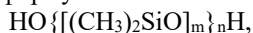
Стерлитамакский филиал, Россия, Стерлитамак

В процессе производства поливинилхлорида на стадиях суспензионной полимеризации винилхлорида в реакторе и дегазации суспензии при интенсивном перемешивании реакционной смеси происходит активное пенообразование. Пенообразование негативно влияет на работоспособность оборудования и технологичность процесса синтеза. Для предотвращения указанной проблемы используют антивспенивающие добавки, вводя их определенное количество в полимеризационный реактор [1,2].

Таким образом, в поливинилхлориде после его контакта с антивспенивателями всегда будут присутствовать их остатки, что естественно, впоследствии в процессе термомеханической переработки полимерных композиций на основе ПВХ может отразиться на термической устойчивости полимера.

Целью данной работы является изучение влияния некоторых пеногасителей на процесс термического и термоокислительного дегидрохлорирования жесткого и пластифицированного ПВХ.

Изученные антивспениватели Пента–1006 и TEGO Antifoam KE–600 представляют собой, соответственно, композицию на основе полиорганосилоксана общей формулы:



где $n = 30\text{--}50$, $m = 1\text{--}10$, и органическую пеногасящую эмульсию на основе полиэфира, содержащую незначительную долю органически модифицированного силоксана.

По причине того, что изученные антивспенивающие добавки представляют собой композиции на основе полиорганосилоксанов, включающие ряд других компонентов неизвестной природы и неизвестного содержания, проводить оценку влияния добавок на процесс дегидрохлорирования полимера можно только по суммарному воздействию всей композиции.

Термическую и термоокислительную деструкцию жесткого или пластифицированного поливинилхлорида проводили при 175°C в атмосфере азота или кислорода при скорости подачи газа $3,5\text{ л/ч}$.

Показано, что введение антивспенивателя Пента–1006 в жесткий ПВХ при термической деструкции полимера в атмосфере азота приводит к

незначительному (в 1,20–1,25 раз) снижению скорости дегидрохлорирования полимера. Максимальное снижение скорости дегидрохлорирования ПВХ достигается при содержании пеногасителя 0,15 масс. ч./100 масс.ч. ПВХ и при дальнейшем увеличении содержания добавки скорость деструкции не изменяется.

В отличие от Пента–1006 в присутствии антивспенивателя TEGO Antifoam KE–600 скорость элиминирования хлористого водорода практически линейно заметно растет с увеличением содержания добавки.

В условиях термоокислительной деструкции ПВХ в кислороде обе антивспенивающие добавки Пента–1006 и TEGO Antifoam KE–600 с увеличением их содержания практически линейно ускоряют распад полимера. При переходе от деструкции жесткого ПВХ к деструкции пластифицированного полимера в атмосфере кислорода в присутствии изученных целевых добавок результаты их влияния на окислительную термоустойчивость ПВХ–пластиков имеют свои особенности.

Антивспенивающая добавка Пента–1006 при термоокислительной деструкции ПВХ, пластифицированного 40 масс.ч/100 масс.ч. ПВХ диоктилфталата, инертна в отношении деструкции полимера и не влияет на скорость распада элиминирования HCl.

TEGO Antifoam KE–600 при его введении в ПВХ, пластифицированного диоктилфталатом, оказывает незначительное замедляющее действие на скорость термоокислительной деструкции полимера.

Экспериментальные результаты оценки эффективности антивспенивающих добавок по показателю «время термостабильности» ПВХ–пластиков коррелируют с результатами, полученными ранее по влиянию изученных добавок на скорость процесса дегидрохлорирования полимера.

Проведена оценка влияния антивспенивателей на реологические свойства модельной полимерной композиции на основе ПВХ по показателю текучести расплава. Целевые добавки при их введении в ПВХ–композиции заметно повышают показатель текучести расплава термопластов, тем самым проявляют смазывающие свойства.

Список использованных источников

1. Wypych G. Handbook of polymer processing additives. ChemTecPublishing, 2023, Toronto, 112 p.

2. Kulkarni R.D., Goddard E.D., Kanner B. Mechanism of antifoaming action. Journal of Colloid and Interface Science. Volume 59, Issue 3, May 1977, Pages 468–476.

© Щинов В.К., Нафикова Р.Ф., Ахметханов Р.М., 2026

УДК 547.022.764.4

МОДИФИКАЦИЯ СОПОЛИМЕРОВ БЕНЗИЛМЕТАКРИЛАТА С МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ СПИРТАМИ И АМИНАМИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Морозов М.Ю., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

Синтез сополимеров на основе высших алкилметакрилатов, способных улучшать низкотемпературные характеристики дизельного топлива (ДТ) является актуальной задачей развития нефтехими. Депрессорные присадки представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые адсорбируясь на образующихся кристаллах парафиновых углеводородов, «закрывают» их поверхность и тем самым препятствуют их агрегации, улучшая низкотемпературные характеристики дизельного топлива. С целью прогнозирования поведения сополимеров в дизельном топливе использовали метод Ленгмюра, заключающийся в получении изотерм поверхностного давления амфифильных полимеров, в условиях сжатия и сжатия–растяжения на межфазной границе вода-воздух.

Нами получены сополимеры бензилметакрилата с малеиновым ангидридом (БМА-МА) методом контролируемой радикальной полимеризации по механизму присоединения-фрагментации и проведена их модификация октанолом-1, тетрадеканолом-1 и цетиламином. Анализ изотерм поверхностного давления показал, что сополимеры БМА-МА, в том числе модифицированный октанолом-1, ведут себя как истинные ПАВ, тогда как сополимеры, модифицированные тетрадеканолом-1 и цетиламином, образуют мицеллы в монослоях Ленгмюра. Доказано, что сополимеры, образующие мицеллы на границе раздела вода-воздух, в частности, модифицированные тетрадеканолом-1 и цетиламином, при вовлечении в дизельное топливо улучшают его низкотемпературные характеристики. Тогда как исходный сополимер и модифицированный октанолом-1, не пригоден в качестве присадки к ДТ, поскольку не растворимы в нем. Таким образом, предложен подход прогнозирования поведения сополимеров в качестве депрессорных присадок методом монослоев Ленгмюра. Показано, что сополимеры, которые образуют мицеллы на границе раздела фаз вода-воздух, улучшают низкотемпературные свойства дизельного топлива.

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

© Морозов М.Ю., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф., 2026

УДК 547.022.764.4

СИНТЕЗ И ВЛИЯНИЕ САМООРГАНИЗАЦИИ СОПОЛИМЕРОВ ВЫСШИХ АЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Долганов Е.Д., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород,

Архитектура, строение, молекулярная масса (ММ) и состав сополимеров, которые используются в качестве депрессорных присадок, являются важными составляющими для эффективной работы депрессора. Использование алкиловых эфиров метакриловой кислоты в качестве присадок к дизельному топливу (ДТ) получило широкое применение за счет сродства с парафинами топлива и гребнеобразной структуры, которая обеспечивает дополнительные центры сокристаллизации присадок и восков. Полимеры, характеризующиеся высокой ММ, плохо растворимы в ДТ, поэтому для синтеза депрессорных присадок целесообразно использовать методы контролируемой радикальной полимеризации, которые позволяют получать полимеры с заданными значениями ММ.

С использованием радикальной полимеризации с переносом атома были синтезированы сополимеры высших алкилметакрилатов с длиной заместителя (C_8 , C_{12} и C_{18}) с виниловыми производными: бензилметакрилатом (БМА) и глицидилметакрилатом (ГМА). В качестве регулятора молекулярно-массовых характеристик была выбрана каталитическая система на основе бромида меди (I), трис[(2-пиридил)метил]амин и этил-(2-бромизообутирата). Установлено, что синтезированные сополимеры характеризуются узким молекулярно-массовым распределением и линейным ростом ММ с увеличением конверсии, что свидетельствует о протекании полимеризации в контролируемом режиме. В работе исследовали самоорганизацию полученных сополимеров на границе раздела вода-воздух в монослоях Ленгмюра методом пластинки Вильгельми. Установлено, что сополимеры высших эфиров метакриловой кислоты, способны образовывать на границе раздела фаз, как мицеллы, так и устойчивые монослои, которые наилучшим образом влияют на низкотемпературные характеристики ДТ, снижая температуру застывания топлива на 20°C.

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

© Долганов Е.Д., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф., 2026

**СЕКЦИЯ №2. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ
И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ**

Одним из самых эффективных способов создания новых полимерных материалов без проведения дополнительного синтеза, является использование смесей полимеров. Сочетание в одном материале полимерных смесей позволяет аккумулировать сильные стороны обоих компонентов. Например, возможно придать жесткому и хрупкому пластику эластичность за счет добавления эластомера. Или - снизить себестоимость конечного изделия за счет смешения дорогого инженерного пластика с более дешевым. Причина создания смесевой композиции может быть связана и с улучшением перерабатываемости: если один полимер плохо плавится или течет, добавление компонента с высокой текучестью облегчает процессы литья под давлением или экструзии. В ряде случаев смесь показывает результаты лучше, чем каждый полимер по отдельности (например, повышенная химическая стойкость или огнестойкость). Однако, в процессе получения материалов на основе смесей полимеров можно столкнуться с определенными трудностями, связанными с тем, что большинство полимеров термодинамически несовместимы друг с другом, вследствие чего они стремятся разделиться на фазы, что часто приводит к ухудшению свойств. Для улучшения совместимости компонентов смеси можно использовать компатибилизаторы, роль которых сводится к снижению межфазного натяжения и предотвращения слипания частиц. В процессе переработки (обычно экструзии) добавки компатибилизаторов концентрируются именно на границе раздела между двумя несовместимыми полимерами. Наиболее эффективны в качестве компатибилизаторов функционализированные полимеры. Они вступают в химическую реакцию с полярными группами смешиваемых материалов, создавая прочные связи. В отсутствие компатибилизаторов даже близкие по природе полимеры ведут себя как термодинамически несовместимые. В данной работе на примере растворов полилактида и поликапролактона показано, что в отсутствие компатибилизаторов смеси данных полимеров формируют так называемые гомоагрегаты, судить о наличии которых в растворе можно по отклонению значений вязкости в меньшую сторону от аддитивных значений. Ни варьирование концентрации полимера в растворе, ни варьирование соотношения полимеров в смеси в широком диапазоне не позволяет сформировать гетероагрегаты, которые свидетельствовали бы о термодинамической совместимости компонентов

УДК 541.64

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ
НАТРИЕВОЙ СОЛИ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И АЛЬГИНАТА
НАТРИЯ

Саляева Е.А., Шуршина А.С., Кулиш Е.И.

Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия

Известно, что разбавленные растворы полимеров представляют собой системы, в которых макромолекулы находятся друг от друга на расстояниях, значительно превышающих их собственные геометрические размеры. При таких концентрациях раствор имеет молекулярную степень дисперсности, и макромолекулы в нём изолированы. При повышении концентрации полимеров в растворах происходят значительные структурные перестройки, связанные с формированием в растворах полимеров агрегатов. Тип формирующихся агрегатов в растворах смесей полимеров зависит в существенной мере от концентрации полимеров в исходном растворе. При концентрации раствора порядка концентрации формирования сетки зацеплений и меньше, чаще образуются гомоагрегаты — структуры, состоящие из макромолекул одного полимера. При более высоких концентрациях могут формироваться смешанные (гетероагрегаты), включающие макромолекулы разных полимеров. Тип формирующихся агрегатов в существенной степени может повлиять не только на свойства самих растворов (например, вязкость), но также и на свойства формирующихся из них материалов. В настоящей работе в качестве полимеров были взяты природные полисахариды —натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы и альгинат натрия.

В ходе исследования установлено, что структура формирующихся агрегатов сказывается принципиальное влияние на свойства, проявляемые пленочными материалами. Так, значения модуля упругости и разрывного напряжения пленок, полученных из исходных растворов, представляющих собой гетеро агрегаты двух полимеров, имеют отклонение от аддитивных значений в большую сторону. В то же время, пленочные материалы, полученные из разбавленных растворов исходных растворов полимеров, в которых формируются гомоагрегаты, напротив, имеют пониженные значения модуля упругости, и разрывного напряжения. Аналогичного рода закономерности имеют место и в эксперименте по изучению транспортных свойств —диффузии паров воды из газовой фазы в полимерную пленку.

Таким образом, можно утверждать, что структура смеси полимеров, формируемая в растворе, сохраняется в процессе формирования пленочного материала, и оказывает определенное влияние на свойства пленок. Данный факт необходимо учитывать в процессе приготовления на основе полимеров защитных раневых покрытий биомедицинского назначения.

© Саляева Е.А., Шуршина А.С., Кулиш Е.И., 2026

УДК 544.47+544.42

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ВОДЫ В КРИСТАЛЛОГИДРАТЕ
 $\text{GdCl}_3 \times y\text{H}_2\text{O}$ НА АКТИВНОСТЬ ГАДОЛИНИЕВОГО КАТАЛИЗАТОРА
В ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ИЗОПРЕНА

Стяжкин Д.В.

Уфимский университет науки и технологий, Российская Федерация,
республика Башкортостан, г. Уфа

Активность лантанидных катализаторов типа Циглера-Натта состава $\text{GdCl}_3 \times n\text{ИПС} - \text{AlR}_3$ в полимеризации диенов определяется комплексом факторов [1], среди которых химический состав исходного сольватного комплекса $\text{GdCl}_3 \times n\text{ИПС}$ играет ключевую роль. Известно, что уменьшение модалых частиц сольвата приводит к увеличению выхода полиизопрена в присутствии соответствующих катализаторов [1]. Это можно объяснить увеличением удельной поверхности, доступной для алкилирования AlR_3 и, соответственно, повышением концентрации активных центров. При этом, особенного внимания заслуживают сольваты, приготовленные из кристаллогидратов $\text{GdCl}_3 \times y\text{H}_2\text{O}$, где $y > 1.25$. Катализаторы, формируемые из таких сольватных комплексов, отличаются крайне низкой активностью в полимеризации диенов, даже несмотря на сопоставимые размеры частиц (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики сольватных комплексов

Состав сольвата	Размер частиц сольвата, нм	Конверсия изопрена за 1 час полимеризации, %
$\text{GdCl}_3 \times 1.27\text{H}_2\text{O} \times 1.8\text{ИПС}$	220	64
$\text{GdCl}_3 \times 1.5\text{H}_2\text{O} \times 0.7\text{ИПС}$	220	19
$\text{GdCl}_3 \times 1.8\text{H}_2\text{O} \times 0.6\text{ИПС}$	250-300	9

Примечание: $[\text{Gd}] = 10$ ммоль/л, $[\text{изопрен}] = 1.5$ М, толуол, 25 °С, мольное соотношение $\text{Al/Gd} = 12$.

Повышение мольного соотношения Al/Gd до 20 и даже до 50 не приводит к существенному росту конверсии изопрена. Вероятно, это связано с тем, что остаточная вода в кристаллогидратах $\text{GdCl}_3 \times y\text{H}_2\text{O}$ препятствует достаточному вхождению ИПС в сольватный комплекс, оставляя значительную часть частиц сольвата и, как следствие, катализатора недоступными для мономера.

Список использованных источников

1. Styazhkin D.V., Plotnikova N.V., Kolesov S.V., Mingaleev V.Z. Kinetics Of Isoprene Polymerization In The Presence Of A Gadolinium Catalyst: Effect Of The Chemical Composition And Particle Size Of The Isopropanol Solvate Of Gadolinium Chloride // Rus. J. of Gen.Chem. 2023. Т. 93. № S1. С. S327.

© Стяжкин Д.В., 2026

РЕГЕНЕРАЦИЯ АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ
ПОЛИ[2-МЕТИЛ-1*H*-ИНДОЛА]

Усманова Г.С., Азнабаева М.Р., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г.
Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Россия, Башкортостан, Уфа.

Загрязнение водоёмов красителями – серьёзная угроза экологии и здоровью. Адсорбция является перспективным методом их удаления, однако ограниченное применение существующих сорбентов связано с их низкой стабильностью и неспособностью к регенерации. Решение этой задачи требует разработки новых, устойчивых и регенерируемых адсорбентов.

В данной работе исследована возможность повторного использования адсорбентов на основе полииндола и его производных, полученных модификацией полиалкениланилина. Испытания проводились с модельными красителями – метиловым оранжевым (МО) и метиленовым синим (МС) [1]. В качестве примера представлены результаты для поли[5-метокси-2-метил-1*H*-индола] (**PIn-5**).

Для оценки регенерации была проведена серия экспериментов по адсорбции-десорбции с использованием **PIn-5** в течение 5 циклов. Из рисунка 1 видно, что с увеличением количества циклов происходит постепенное снижение эффективности, хотя в случае МС данный адсорбент сохранил значительную часть своей адсорбционной способности. Таким образом, полученные результаты демонстрируют потенциал данного материала для многократного повторного использования.

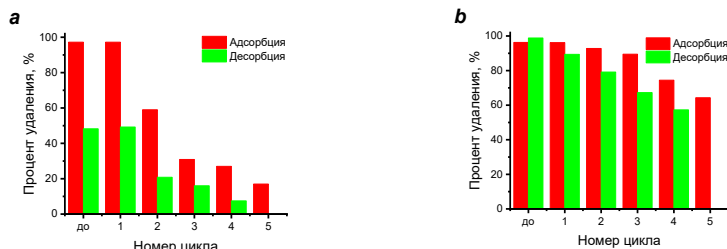


Рис. 1. Регенерация **PIn-5** для удаления (a) МО и (b) МС.

Список использованных источников

1. Usmanova G.S. et al. Synthesis and characterization of polyindole derivatives for removal of organic dyes: Methyl orange and Methylene blue. *Journal of Applied Polymer Science*. – 2026. – V. 143(6). – P. e58166.

Работа выполнена по теме госзадания № 125020601600-9

© Усманова Г.С., Азнабаева М.Р., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г., 2026

Актуальность исследования реологических свойств растворов альгината натрия обусловлена их широким применением в различных отраслях промышленности и науки. Представляет интерес детальный анализ зависимости упруго-вязких свойств растворов от концентрации полимера в растворе.

Целью данной работы является исследование реологических свойств растворов альгината натрия.

Для исследования вязкоупругих свойств альгинатных растворов был использован осцилляционный режим реологического метода исследования. В рамках осцилляционных измерений регистрируются два основных параметра — модуль накопления (упругий модуль, G') и модуль потерь (вязкий модуль, G''). Первый характеризует долю энергии, запасаемой системой и связанной с упругими деформациями полимерной сетки, второй — долю энергии, рассеиваемой в виде тепла вследствие вязкого течения.

В разбавленных растворах альгината натрия (до 0,3 г/дл) наблюдается превышении модуля потерь (G'') над модулем накопления (G'). Это свидетельствует о том, что система ведет себя преимущественно как вязкая жидкость, в которой макромолекулы не образуют устойчивой пространственной сети.

С увеличением концентрации до 5 г/дл, соответствующей полуразбавленному режиму, была обнаружена промежуточная зона, где происходит пересечение кривых модуля накопления (G') и модуля потерь (G''). Данное явление в реологии означает, что образец переходит от вязкого течения к вязкоупругому поведению.

Наиболее выраженные изменения наблюдаются в концентрированных растворах альгината натрия (с концентрацией от 7 г/дл). В данной области модуль накопления (G') превышает модуль потерь (G'') на всем диапазоне частот. Данные растворы, обладающие упругим характером течения, принято характеризовать как гели.

Таким образом, для водных растворов альгината натрия осцилляционные исследования позволили выявить существенные различия в вязкоупругом поведении в зависимости от концентрации полимера, что хорошо согласуется с ранее установленным разделением на разбавленные, полуразбавленные и концентрированные системы.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЭПОКСИДИРОВАНИЯ
РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

Старшов Б.О., Васильева С.Ю., Насакин О.Е.

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.

Растительные масла, такие как соевое и т.д. представляют собой богатый возобновляемый ресурс для получения экологически чистых химических веществ для промышленного использования. Масла состоят в основном из насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в форме триглицеридов. Ненасыщенные триглицериды обладают высокой химической активностью и легко подвергаются эпоксидированию с получением эпоксидированного масла. Химические вещества, полученные из растительных масел, используются в качестве промышленных химикатов благодаря ряду их преимуществ, а именно: легкодоступности, относительной дешевизне, получению из возобновляемых ресурсов, низкой токсичности, высокой способности к биологическому разложению и т.д. Масла как таковые или их эпоксидированные соединения широко используются при приготовлении пластификаторов, мыла, а также в качестве диспергирующих добавок в красках, защитных покрытиях или лакокрасочных составах.

Эпоксидированное соевое масло получают по реакции Прилежаева – воздействию перекиси водорода в кислой среде, например в присутствии муравьиной кислоты. Однако в отсутствии катализатора данная реакция протекает медленно и неполностью, более того, при избытке кислоты, может протекать реакция раскрытия эпоксидных колец, с образованием гликолей, при избытке перекиси водорода образуется большое количество пероксидных групп, которые приводят к получению разветвленных полимеров.

Поэтому в данной работе были проведены исследования по влиянию стеарата оксида ванадия(IV) (СВ) на реакцию эпоксидирования соевого масла. Эпоксидирование соевого масла в присутствии СВ и проводили следующим образом. В соевое масло при перемешивании добавляли в количестве 100 г добавляли при перемешивании 0,1 г СВ, 10 г концентрированной муравьиной кислоты и 30 г 30% раствора перекиси водорода. Реакции проводили при перемешивании сначала при комнатной температуре в течение 1 ч, а затем при нагревании до 60°C в течение 3 ч. Исследование эпоксидирования соевого масла проводили методом ЯМР ^1H спектроскопии. Все стандарты и образцы масла были подготовлены для анализа ЯМР ^1H путем растворения 0,1 г образца в 2,0 мл дейтерированного хлороформа и помещения 750 мкл раствора в ЯМР-пробирку диаметром 5 мм. Параметры сбора данных - ширина спектра 10080 Гц, задержка релаксации 3 с, количество сканирований 64, время сбора данных 3,25 с, ширина импульса

90°. Общее время сбора данных составило 6,9 мин. Спектры ЯМР ^1H были записаны на спектрометре Bruker Avance 500 МГц.

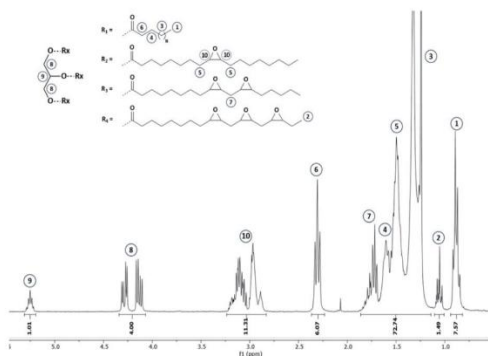


Рис. 1. ЯМР ^1H – спектр эпексидированного соевого масла.

Исходное соевое масло не содержит эпексидных групп. В частично эпексидированном соевом масле (рис.1) сигналы, появляющиеся при ~3,00 ppm, указывали на образование эпексидов, в то время как оставшиеся двойные связи давали сигналы при ~5,50 ppm.

© Старшов Б.О., Васильева С.Ю., Насакин О.Е., 2026

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ВИНИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ В ПРИСУТСТВИИ РЯДА КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА
Вдовина О.Ю.^{1*}, Захарова Е.М.², Галимуллин Р.Р.¹, Колесов С.В.^{1,2}

¹ Уфимский институт химии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УФИХ УФИЦ РАН), Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа

² Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ), Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа

В таблице приведены данные, характеризующие термостойкость полимеров, полученных в присутствии металлокомплексов (МК).

Таблица 1 – Характеристики термораспада некоторых виниловых полимеров

Полимер	T _{н.} , °C	T _{макс.} , °C	Полимер	T _{н.} , °C	T _{макс.} , °C
ММА-ПММА (ФЦ)	271	363	ММА-ПС (ФЦ)	399	424
ММА-ПММА (ТЦЖ)	313	379	ММА-ПС(ДДЦЖ)	371	417
ММА-ПММА (ДДЦЖ)	303	376	Ст-ПММА (ФЦ)	311	374
ПММА [2]	349	389	ПС [2]	411	427

Термостойкость полимеров, полученных пост-полимеризацией «своего» мономера на «своем» полимере, как правило, увеличивается относительно свободно-радикальных [1]. В работе [2] получен продукт, способный выступать в роли макрокатализатора. Полимеры, синтезированные в его присутствии, также обладают повышенной термоустойчивостью.

Данные результаты позволяют заключить, что на термостойкость полимеров виниловых мономеров оказывает влияние вид мономера и металлокомплекса, способ получения полимера и строение его цепей. Вместе с тем, для радикально-координационных ПС и сополимеров Ст, имеющих более высокую собственную термостабильность, ее повышение не представляется значительным.

Список использованной литературы

1. Vdovina O.Yu., Galimullin R.R., Abdullin M.F., Smirnov A.V., Kolesov S.V. // Mendeleev Commun. 2024. Vol. 34. P. 721–724. DOI: 10.1016/j.mencom.2024.09.031
2. Vdovina O.Y., Galimullin R.R., Zakharova E.M., Kolesov S.V. // Russ. J. Gen. Chem. 2025. – Vol. 95. – P. 999–1005. DOI: 10.1134/S1070363224613139

УДК 541.64

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЛАНОВОЙ КАМЕДИ В МЕДИЦИНЕ И ФАРМАЦЕВТИКЕ

Нурвалиева К.Р., Хасанова А.И.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа

Геллановая камедь представляет собой высокомолекулярный анионный экзополисахарид, синтезируемый бактерией *Sphingomonas elodea* в процессе аэробной ферментации углеводсодержащих субстратов. Актуальность применения геллановой камеди в медицине и фармацевтике стремительно растёт благодаря её уникальным свойствам: биосовместимость, нетоксичность, биоразлагаемость, а её гели по структуре близки к внеклеточному матриксу человека. Современные лекарственные формы требуют точного контроля реологических характеристик для обеспечения стабильности, удобства применения и оптимальной биодоступности активных веществ. Геллановая камедь отвечает этим требованиям благодаря способности формировать системы с предсказуемым и устойчивым поведением в широком диапазоне температур, pH и ионной силы.

В современной медицине геллановая камедь является перспективным биоматериалом для создания систем доставки лекарств, тканевой инженерии и регенеративной медицины. Её высокая популярность обусловлена уникальным сочетанием свойств. Она находит широкое применение в тканевой инженерии и 3D-биопечати в качестве биочернил для создания живых тканей, ускоряет процесс заживления: носители на его основе обладают антиоксидантными свойствами, защищая от окислительных реакций. А также геллановая камедь используется в офтальмологии при терапии глаукомы: при контакте со слёзной жидкостью она превращается в прозрачный гель, удерживая лекарство до 12 часов и повышая её биодоступность.

Таким образом, геллановая камедь является универсальным и перспективным компонентом современных лекарственных форм и биоматериалов. Её функциональные и реологические свойства, а также высокая безопасность определяют актуальность дальнейших исследований и расширения областей применения в медицине и фармацевтике. Развитие технологий на основе геллана способствует созданию эффективных, стабильных и удобных в применении препаратов нового поколения.

© Нурвалиева К.Р., Хасанова А.И., 2026

УДК 544.18+539.612

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕРОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ γ -Al₂O₃
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛА МОРЗЕ

И.С. Родионов, А.А. Балдинов, В.И. Анисимова, Н.В. Улитин,
К.А. Терещенко, И.Д. Кирдин, И.А. Старостина, О.В. Стоянов
Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

Закрепление каталитически активных металлов на поверхностях носителей (в частности, γ -Al₂O₃) может осуществляться через полимерные лиганды. Методами квантовой химии (DFT, CP2K, PBE-GD3/MOLOPT) с использованием уравнения потенциала Морзе исследовано адгезионное взаимодействие полимеров (полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полипропиленкарбоната (ППК), полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС) и полипропилена (ПП)), содержащих типичные для полимерных лигандов функциональные группы, с γ -Al₂O₃ и гидроксильной поверхностью γ -Al₂O₃ (γ -Al₂O₃-ОН). Рассчитаны энергия ($\Delta E_{\text{адг}}$) и максимальная сила ($F_{\text{макс}}$) адгезионного взаимодействия. Установлено, что значения $F_{\text{макс}}$ коррелируют с $\Delta E_{\text{адг}}$. Для системы ПЭТФ- γ -Al₂O₃ получены максимальные значения ($D_e = 213.20$ кДж/моль, $F_{\text{макс}} = 101.61$ нН, $\Delta E_{\text{адг}} = 225.7$ кДж/моль), для ПП- γ -Al₂O₃ – минимальные ($D_e = 50.53$ кДж/моль, $F_{\text{макс}} = 30.53$ нН, $\Delta E_{\text{адг}} = 62.1$ кДж/моль). Гидроксильное покрытие поверхности γ -Al₂O₃ приводит к снижению прочности адгезионного взаимодействия: для ПЭТФ- γ -Al₂O₃-ОН $D_e = 70.84$ кДж/моль, $F_{\text{макс}} = 52.05$ нН, $\Delta E_{\text{адг}} = 102.4$ кДж/моль. Полученные количественные характеристики уравнения потенциала Морзе (D_e , α , Δr , $F_{\text{макс}}$) позволяют оценить прочность адгезионного взаимодействия в системах полимер- γ -Al₂O₃ и полимер- γ -Al₂O₃-ОН на атомном уровне.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Молекулярный дизайн катализаторов с применением искусственного интеллекта», соглашение № 075-00021-26-00 от 12.01.2026.

© Родионов И.С., Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В.,
Терещенко К.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А., Стоянов О.В., 2026

УДК 544.18+539.612

ПОСТРОЕНИЕ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ
МОДЕЛЕЙ ПОЛИМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТИПИЧНЫЕ ДЛЯ
ПОЛИМЕРНЫХ ЛИГАНДОВ – ФИКСАТОРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НОСИТЕЛЕЙ –
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

Н.В. Улитин, А.А. Балдинов, И.С. Родионов, В.И. Анисимова,
К.А. Терещенко, И.Д. Кирдин, И.А. Старостина, О.В. Стоянов
Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

В гетерогенном катализе каталитически активные металлы могут закрепляться на поверхности носителя за счет полимерных лигандов. В настоящей работе методами молекулярной динамики (LAMMPS, силовое поле PCFF) с использованием метода отжига построены модели полимеров – полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полипропиленкарбоната (ППК), полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС) и полипропилена (ПП), – содержащих типичные для полимерных лигандов функциональные группы. Валидация моделей проведена путем сравнения рассчитанных значений плотности ($\rho_{\text{теор}}$) и температуры стеклования ($T_{\text{g(теор)}}$) с экспериментальными данными. Подобраны степени полимеризации (n), обеспечивающие наилучшее согласие с экспериментальными данными: для ПЭТФ $n = 90$ ($\rho_{\text{теор}} = 1.32 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(теор)}} = 358 \text{ К}$; $\rho_{\text{эксп}} = 1.34 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(эксп)}} = 333\text{-}353 \text{ К}$); для ППК $n = 10$ ($\rho_{\text{теор}} = 1.25 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(теор)}} = 341 \text{ К}$; $\rho_{\text{эксп}} = 1.26 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(эксп)}} = 298\text{-}313 \text{ К}$); для ПММА $n = 40$ ($\rho_{\text{теор}} = 1.12 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(теор)}} = 380 \text{ К}$; $\rho_{\text{эксп}} = 1.17\text{-}1.20 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(эксп)}} = 378\text{-}393 \text{ К}$); для ПС $n = 70$ ($\rho_{\text{теор}} = 0.98 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(теор)}} = 374 \text{ К}$; $\rho_{\text{эксп}} = 1.04\text{-}1.07 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(эксп)}} = 374 \text{ К}$); для ПП $n = 20$ ($\rho_{\text{теор}} = 0.81 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(теор)}} = 258 \text{ К}$; $\rho_{\text{эксп}} = 0.82\text{-}0.86 \text{ г/см}^3$, $T_{\text{g(эксп)}} = 253\text{-}262 \text{ К}$). Полученные результаты подтверждают адекватность построенных моделей полимеров. Построенные модели полимеров могут в дальнейшем использоваться для исследования методами молекулярной динамики их адгезионного взаимодействия с поверхностью наиболее востребованного в гетерогенном катализе носителя – $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Молекулярный дизайн катализаторов с применением искусственного интеллекта», соглашение № 075-00021-26-00 от 12.01.2026.

© Улитин Н.В., Балдинов А.А., Родионов И.С., Анисимова В.И.,
Терещенко К.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А., Стоянов О.В., 2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ АДГЕЗИИ ПОЛИМЕРОВ К
ПОВЕРХНОСТИ γ -Al₂O₃ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИК.А. Терещенко, Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В.,
Родионов И.С., Новичкова А.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А.,
Стоянов О.В.Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

Полимеры могут использоваться в качестве лигандов для фиксации каталитически активных металлов на поверхности носителя. В качестве такого носителя часто используется γ -Al₂O₃. В настоящей работе методами молекулярной динамики (LAMMPS, силовые поля PCFF и IFF) исследовано адгезионное взаимодействие полимеров (полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полипропиленкарбоната (ППК), полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС) и полипропилена (ПП)), содержащих типичные для полимерных лигандов функциональные группы, с γ -Al₂O₃ и гидроксильной поверхностью γ -Al₂O₃ (γ -Al₂O₃-ОН). Рассчитана работа адгезии ($W_a^{\text{расч}}$). Установлено, что максимальная работа адгезии достигается для системы ПЭТФ- γ -Al₂O₃ ($W_a^{\text{расч}} = 5.12$ мДж/м²) за счет образования связей атомов кислорода сложноэфирных групп, углерода ароматического фрагмента и водорода ПЭТФ с атомами Al и О субстрата. Прочность адгезионного взаимодействия убывает в ряду: ПЭТФ > ППК > ПММА > ПС > ПП. Гидроксильрование поверхности γ -Al₂O₃ снижает работу адгезии: ПЭТФ – до 4.26 мДж/м², ПММА – до 2.88 мДж/м², ПС – до 2.16 мДж/м². Для ППК гидроксильрование γ -Al₂O₃ не приводит к существенному изменению ($W_a^{\text{расч}} = 4.50$ мДж/м² для γ -Al₂O₃ и 4.48 мДж/м² для γ -Al₂O₃-ОН). Исключением является ПП: работа адгезии возрастает с 2.40 мДж/м² (γ -Al₂O₃) до 2.77 мДж/м² (γ -Al₂O₃-ОН) за счет снятия электростатического отталкивания от атомов алюминия и образования дополнительных водородных связей. Экспериментальные значения работы адгезии (для ПЭТФ $W_a^{\text{эксп}} = 84.72$ мДж/м², ППК – 90.59 мДж/м², ПММА – 77.75 мДж/м², ПС – 65.89 мДж/м², ПП – 68.45 мДж/м²) на порядок превышают расчетные, что объясняется отсутствием в моделях учета шероховатости поверхности и механических зацеплений.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Молекулярный дизайн катализаторов с применением искусственного интеллекта», соглашение № 075-00021-26-00 от 12.01.2026.

© Терещенко К.А., Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В.,
Родионов И.С., Новичкова А.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А.,
Стоянов О.В., 2026

УДК 544.18+539.612

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕРОВ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП
И КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ γ -Al₂O₃

Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В., Родионов И.С.,
Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В.
Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

В современных гетерогенных катализаторах каталитически активные металлы наносят на носители, среди которых широко применяется γ -Al₂O₃. Для закрепления металлов на носителях могут использоваться полимерные лиганды. В настоящей работе методами квантовой химии (DFT, CP2K, PBE-GD3/MOLOPT) исследовано адгезионное взаимодействие полимеров (полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полипропиленкарбоната (ППК), полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС) и полипропилена (ПП)), содержащих типичные для полимерных лигандов функциональные группы, с γ -Al₂O₃ и гидроксированной поверхностью γ -Al₂O₃ (γ -Al₂O₃-ОН). Рассчитана энергия адгезионного взаимодействия ($\Delta E_{\text{адг}}$). Установлено, что для γ -Al₂O₃ максимальная прочность адгезионного взаимодействия наблюдается у ПЭТФ ($\Delta E_{\text{адг}} = 225.7$ кДж/моль), затем у ПС (161.6 кДж/моль), ППК(Ок) (137.0 кДж/моль), ПММА(Ок) (117.9 кДж/моль), ППК(Оэ) (111.2 кДж/моль), ПММА(Оэ) (100.1 кДж/моль), минимальная у ПП (62.1 кДж/моль). Здесь Ок – карбонильный атом кислорода, Оэ – эфирный атом кислорода. Согласно анализу PDOS, взаимодействие носит донорно-акцепторный (через карбонильный кислород) и электростатический (через эфирный кислород и ароматические фрагменты (Сб)) характер. Наличие ОН групп на поверхности γ -Al₂O₃ снижает $\Delta E_{\text{адг}}$: ПЭТФ – 102.4 кДж/моль, ПС – 78.6 кДж/моль, ППК(Ок) – 64.0 кДж/моль, ППК(Оэ) – 56.7 кДж/моль, ПММА(Оэ) – 59.6 кДж/моль, ПП – 44.2 кДж/моль, ПММА(Ок) – 42.7 кДж/моль. Изменение механизма адгезионного взаимодействия объясняется заменой связей Ок-Al, Оэ-Al, Сб-Al на более слабые водородные связи с ОН-группами. Полученные ряды прочности адгезионного взаимодействия согласуются с экспериментальными значениями параметра кислотности (ΔD): для ПЭТФ $\Delta D = 2.25$ (мДж/м²)^{1/2}, для ПС – 2.09 (мДж/м²)^{1/2}, для ППК – 1.9 (мДж/м²)^{1/2}, для ПММА – 1.65 (мДж/м²)^{1/2}, для ПП – 0.95 (мДж/м²)^{1/2}.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Молекулярный дизайн катализаторов с применением искусственного интеллекта», соглашение № 075-00021-26-00 от 12.01.2026.

© Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В., Родионов И.С.,
Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В., 2026

УДК 541.69:697:544.165

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕР-КОЛЛОИДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ГИДРОХЛОРИДА ХИТОЗАНА И КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ ЙОДИДА СЕРЕБРА.

Соснина Д.А., Базунова М.В.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа.

Водорастворимое производное хитозана - гидрохлорид хитозана (ГХ-ХТЗ) - широко применяется в медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности, ветеринарии и косметологии для контроля веса, снижения холестерина, очищения организма от токсинов и улучшения работы желудочно-кишечного тракта и при создании новых антимикробных препаратов. Разнообразить биомедицинские функции ГХ-ХТЗ можно введением модифицирующих добавок, например, соединений серебра, которые зарекомендовали себя как эффективные антимикробные средства. В данной работе при создании ранозаживляющих материалов использован способ, основанный на удалении дисперсионной среды из полимер-коллоидных дисперсий, в которых неорганические коллоидные частицы йодида серебра стабилизируются макромолекулами ГХ-ХТЗ. Отрицательно заряженные частицы золя AgI получали по известной методике [2] смешением равно концентрированных (0.01 моль/л) растворов нитрата серебра с йодидом калия в объемном соотношении 7:10. Для получения полимер-коллоидных дисперсий ГХ-ХТЗ с мицеллами золя AgI проводили набухание навески ГХ-ХТЗ в свежеприготовленном золе.

Агрегативная и седиментационная устойчивость ПКД на основе систем лиофобных золь и водорастворимых полимеров, образующих защитные экраны вокруг неорганических наночастиц, зависит от размера частиц золя, распределения частиц по размерам и числа частиц, а также от вязкости дисперсионной среды [1, 3]. Установлено, что введение коллоидных частиц йодида серебра в раствор полисахарида приводит к возрастанию вязкости. Поскольку содержание дисперсионной фазы в нашем случае невелико (не более 10%) и образовывать самостоятельную пространственную сетку частицы золя не могут, остается предположить, что возрастание вязкости связано с тем, что присутствие неорганического золя в системе полимер-растворитель приводит к образованию дополнительной сетки, вследствие специфической адсорбции макромолекул на поверхности золя. Стоит отметить, что более значительное повышение наблюдается как при повышении концентрации полисахарида, так и при увеличении массовой (не числовой!) концентрации частиц AgI . Следовательно, формирование сетки зацеплений в случае полимер-коллоидных дисперсий может осуществляться как вследствие увеличения

содержания полимера в растворе, так и вследствие введения в раствор полимера дисперсной фазы.

Т.к. полученные ПКД характеризуются высокой седиментационной устойчивостью и степенью структурированности, то на их основе методом лиофильной сушки удалось получить пористые платины (матрицы), характеризующиеся улучшенными деформационно-прочностными характеристиками по сравнению с матриксами на основе индивидуальных полисахаридов вследствие сохранения однородности свойств системы на стадии удаления растворителя лиофилизацией (таблица 1).

Таблица 1. Физико-механические свойства полимерных матриксов на основе ГХ-ХТЗ

Состав матрикса	Модуль упругости (деформация хода) Е, Па	Напряжение σ , Па	Отн. удлинение $\Delta l/l_0$, %
ГХ-ХТЗ 3% + AgI 0,01Н	2,03	0,15	1,03
ГХ-ХТЗ 3% + AgI 0,01Н + Глицерин 1%	4,62	0,03	2,3

Таким образом, разработанные принципы получения и регулирования свойств ПКД на основе зелей йодида серебра и ГХ-ХТЗ и материалов на их основе можно использовать для создания ранозаживляющих материалов. Предложенные подходы к направленному структурообразованию ПКД пригодны к широкому использованию для регулирования свойств гелеобразных и пленочных материалов на основе полисахаридов и неорганических коллоидных частиц.

Список использованных источников

1. Mellegård, H., Strand, S.P., Christensen, B.E., Granum, P.E., Hardy, S.P. (2011) Antibacterial activity of chemically defined chitosans: Influence of molecular weight, degree of acetylation and test organism, International Journal of Food Microbiology, 148, 48–54.
2. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. М.: Химия, 1986.
3. Базунова, М. В. Изучение реологического поведения интерполимерных комплексов N-сукцинилхитозана с поли-N-винилпирролидоном и полиэтиленгликолем / М. В. Базунова, Б. Ф. Алмаев // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2024. – Т. 67, № 9. – С. 45-52. – DOI 10.6060/ivkkt.20246709.6963. – EDNXDAMVX.

© Соснина Д.А., Базунова М.В., 2026г.

УДК 544.18+539.612

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВКЛАДОВ В АДГЕЗИОННОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ γ - Al_2O_3
МЕТОДОМ PIEDA

Анисимова В.И., Балдинов А.А., Улитин Н.В., Родионов И.С.,
Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В.
Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

Самым востребованным носителем нанесенных катализаторов является γ - Al_2O_3 . Закрепление каталитически активных металлов на поверхности γ - Al_2O_3 может осуществляться с помощью полимерных лигандов. В настоящей работе методами квантовой химии с использованием анализа разложения энергии парного взаимодействия PIEDA (B3LYP-GD3/6-31G(d,p)) исследовано адгезионное взаимодействие полимеров (полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полипропиленкарбоната (ППК), полиметилметакрилата (ПММА), полистирола (ПС) и полипропилена (ПП)), содержащих типичные для полимерных лигандов функциональные группы, с γ - Al_2O_3 и гидроксильной поверхностью γ - Al_2O_3 (γ - Al_2O_3 -ОН). Для системы ПЭТФ- γ - Al_2O_3 основной вклад в энергию адгезионного взаимодействия ($\Delta E_{\text{int}} = -10.2$ мДж/м²) вносят электростатическая составляющая ($\Delta E_{\text{ct}} = -13.9$ мДж/м²) и энергия переноса заряда ($\Delta E_{\text{cs}} = -14.8$ мДж/м²). Дисперсионный вклад минимален ($\Delta E_{\text{disp}} = -0.4$ мДж/м²). Для гидроксильной поверхности (ПЭТФ- γ - Al_2O_3 -ОН) механизм изменяется: $\Delta E_{\text{int}} = -28.8$ мДж/м², при этом доминируют $\Delta E_{\text{ct}} = -12.9$ мДж/м² и $\Delta E_{\text{disp}} = -23.8$ мДж/м². Аналогичные закономерности получены для других адгезивов: для ПС- γ - Al_2O_3 $\Delta E_{\text{int}} = -4.5$ мДж/м² ($\Delta E_{\text{cs}} = -6.7$, $\Delta E_{\text{ct}} = -7.9$), для ПС- γ - Al_2O_3 -ОН $\Delta E_{\text{int}} = -23.7$ мДж/м² ($\Delta E_{\text{ct}} = -11.7$, $\Delta E_{\text{disp}} = -18.2$); для ПП- γ - Al_2O_3 $\Delta E_{\text{int}} = -2.3$ мДж/м² ($\Delta E_{\text{cs}} = -2.9$, $\Delta E_{\text{ct}} = -3.0$), для ПП- γ - Al_2O_3 -ОН $\Delta E_{\text{int}} = -14.9$ мДж/м² ($\Delta E_{\text{ct}} = -7.1$, $\Delta E_{\text{disp}} = -12.0$). Таким образом, гидроксильное покрытие носителя (например, в процессе паровой конверсии метана) приводит к изменению механизма адгезии: от донорно-акцепторного и электростатического к механизму с доминирующим вкладом дисперсионных взаимодействий.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Молекулярный дизайн катализаторов с применением искусственного интеллекта», соглашение № 075-00021-26-00 от 12.01.2026.

© Анисимова В.И., Балдинов А.А., Улитин Н.В., Родионов И.С.,
Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В., 2026

УДК 541.64

ВЛИЯНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА

Сафина П.И., Шуршина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа

Разработка жидких лекарственных форм (ЖЛФ) на основе природных полисахаридов является одним из приоритетных направлений современной фармацевтической технологии, что обусловлено необходимостью создания биосовместимых, безопасных и функционально управляемых систем доставки биологически активных веществ. Среди таких полимеров особое место занимает пектин, обладающий способностью к гелеобразованию, высокой гидрофильностью и чувствительностью к параметрам окружающей среды. Эти свойства делают его перспективной основой для создания ЖЛФ.

Одним из ключевых факторов, определяющих поведение пектинсодержащих систем, является присутствие в них низкомолекулярных электролитов, в частности хлорида натрия. Введение солей в полимерные растворы приводит к изменению ионной силы среды, что оказывает существенное влияние на межмолекулярные взаимодействия, конформацию макромолекул и структурную организацию системы в целом. Для анионных полисахаридов, таких как пектин, экранирование отрицательно заряженных карбоксильных групп ионами натрия способствует снижению электростатического отталкивания между цепями, что может приводить как к уплотнению структуры, так и к агрегации макромолекул. Данный факт может сказаться на транспортных свойствах ЖЛФ.

В ходе изучения процесса высвобождения цефазолина (ЦФЗ) из ЖЛФ на основе пектина было обнаружено, что введение хлорида натрия в ЖЛФ, полученные на основе разбавленных растворов пектина, приводит к увеличению скорости высвобождения ЦФЗ. При этом с увеличением количества вводимого хлорида натрия скорость высвобождения ЦФЗ увеличивается. Очевидно, причина может быть связана с понижением вязкости раствора полимера при введении хлорида натрия.

При переходе к полуразбавленным растворам скорость высвобождения ЦФЗ проходит через максимум, соответствующий 0.5 % раствору хлорида натрия. Таким образом, полученные результаты имеют важное значение для разработки ЖЛФ на основе пектина. Концентрация хлорида натрия и полимера в растворе позволяет целенаправленно регулировать скорость высвобождения действующих веществ.

© Сафина П.И., Шуршина А.С., 2026

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ КСАНТАНОВОЙ
КАМЕДИ

Хасанова А.И., Нурвалиева К.Р., Шуршина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа

Ксантановая камедь — высокомолекулярный анионный полисахарид с разветвлённой молекулярной структурой. Актуальность широкого применения ксантановой камеди в современной промышленности обусловлена комплексом её уникальных реологических и физико-химических свойств, которые трудно воспроизвести синтетическими аналогами или другими природными полимерами. Ксантановая камедь способна придавать растворам высокую вязкость даже при низких концентрациях (0,05-0,5%), а также проявлять псевдопластичность - снижение вязкости при сдвиговых нагрузках и быстро восстановление в покое.

Изучение реологических свойств растворов ксантановой камеди важно с точки зрения процесса получения оптимальной лекарственной формы. В зависимости от вязкостных и реологических характеристик раствор полимера может быть рекомендован к разработке той или иной лекарственной формы.

В ходе работы были приготовлены водные растворы ксантановой камеди в широком диапазоне концентраций. Реологические измерения водных растворов полимера проводились на модульном динамическом реометре Haake Mars III при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в режиме сдвигового деформирования.

Полученные результаты показали, что для исследованных растворов полимера можно выделить наличие трех концентрационных режимов — разбавленного, полуразбавленного и концентрированного. Полуразбавленные растворы ксантановой камеди проявляют ярко выраженное псевдо-пластическое (сдвигоразжижаемое) поведение: с увеличением скорости сдвига наблюдается снижение эффективной вязкости. Для концентрированных растворов зафиксировано появление предела текучести, что указывает на формирование пространственной сетки за счет ассоциации полимерных цепей. Это позволяет создавать композитные системы с заданными характеристиками — от мягких гелей до более жестких структур, устойчивых к механическим нагрузкам.

Таким образом, ксантановая камедь является универсальным и высокоэффективным материалом для разработки современных лекарственных форм и биомедицинских систем.

© Хасанова А.И., Нурвалиева К.Р., Шуршина А.С., 2026

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСИ
ПОЛИМЕРОВ ПЕКТИН – НАТРИЕВАЯ СОЛЬ
КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Шихмуратова Р.Р., Шуршина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа

В последние десятилетия особое внимание уделяется композициям, способным обеспечивать регулируемое высвобождение биологически активных веществ, биосовместимость и возможность целенаправленной доставки. В этом контексте смеси полисахаридов, таких как пектин (ПК) и натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ), представляют значительный научный и практический интерес благодаря сочетанию их физико-химических и функциональных характеристик.

Комбинирование ПК и Na-КМЦ открывает возможности тонкой настройки сорбционных свойств за счёт изменения состава и условий формирования системы. Например, увеличение доли одного из компонентов может приводить к уплотнению структуры или, напротив, к её разрыхлению, что отражается на скорости сорбции.

В связи с этим целью данной работы стало исследование сорбционных свойств пленок на основе смеси полимеров пектин – натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы.

Вискозиметрическим методом исследования было показано, что в растворах смеси КМЦ-ПК образуются гомоагрегаты. Гомоагрегаты, формирующиеся в результате ассоциации однотипных макромолекул (ПК-ПК или Na-КМЦ-Na-КМЦ), приводят к возникновению доменно-структурированной морфологии пленки. В плотно упакованных доменах снижается доля свободного объёма и уменьшается подвижность сегментов, что может привести к снижению коэффициентов диффузии и проницаемости.

Действительно, в ходе изучения сорбционных свойств пленок на основе смеси ПК и Na-КМЦ было показано, что полученные пленки на основе гомоагрегатов характеризуются меньшей степенью сорбции паров воды и меньшими значениями коэффициентов диффузии сорбции паров воды по сравнению с пленками из индивидуальных полимеров.

Таким образом, формирование гомоагрегатов в смесях полимеров пектин – натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы является ключевым фактором, определяющим сорбционные свойства пленочных образцов.

Благодаря уникальному набору физико-химических свойств, таких как физиологическая активность, биосовместимость с тканями организма, антиоксидантное, цитопротекторное, иммуномодулирующее действие и др. полимер природного происхождения пектин весьма перспективен для применения в биомедицинской сфере. Пектин способствует регенерации и росту новой ткани и может выступать в качестве носителя лекарственных средств.

Благодаря естественной склонности пектина к гелеобразованию, он может выступать в качестве основы мягких гелевых лекарственных форм, характеризующихся особой «мягко-влажной» природой. Процесс гелеобразования достаточно сложен и включает электростатические, водородные и гидрофобные взаимодействия между полисахаридными цепями. Главное достоинство гелей и других мягких лекарственных форм - пролонгированное действие на фоне быстрого впитывания.

Однако, гидрогели обладают и рядом недостатков, которые проявляются при их использовании. Например, они обладают невысокими прочностными характеристиками, могут расслаиваться при хранении, проявляют чувствительность к воде и нестабильность в физиологических условиях.

Перечисленные недостатки гидрогелей в случае пектина могут быть устранены при связывании его ионами двухвалентных металлов, обычно кальция или цинка. Кальций и такие микроэлементы как цинк, медь, марганец и др. принципиально необходимы для быстрого и эффективного заживления ран. Более того, цинк – принципиально важный кофактор ферментов, участвующих в синтезе различных молекулярных компонентов соединительной ткани. Данные молекулярно-фармакологических исследований показывают, что при возникновении повреждения эпителиальной ткани происходит локализованное повышение уровней внутри- и внеклеточного кальция, которое принимает непосредственно участие в заживлении раны и восстановлении ткани. Кроме того, для заживления раны также важны и роли кальция в свертывании крови при повреждении эпителия.

Целью данной работы стало комплексное реологическое исследование растворов пектина в широком концентрационном диапазоне в присутствии ионов двухвалентных металлов – кальция, цинка и магния с целью определения условий формирования мягких лекарственных форм на основе водных растворов пектина.

УДК 541.64

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АДГЕЗИЮ МЕЖДУ ПОЛИМЕРОМ И МЕТАЛЛОМ

Кулиш Е.И.¹, Лаздин Р.Ю.^{2,3}, Чжанд Синьхуа³, Хэ Чуньлэй²

¹Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия,

²Университет города Тяньцзы, Китайская народная республика, ³Компания

Zhejiang Nod Pump Co Ltd., Китайская народная республика

Развитие солнечной и геотермальной энергетики повысило спрос на роторные насосы, работающие в экстремальных режимах. Для их долговечности недостаточно одних жаропрочных сплавов. Снизить нагрузку на оборудование и продлить срок его службы помогают специальные термостойкие полимерные покрытия. При этом ключевым технологическим вызовом остается создание сверхпрочной адгезии между металлическим ротором и защитным полимером. Следовательно, современный тренд на внедрение объектов возобновляемой энергетики обуславливает жесткие требования к эксплуатационным характеристикам роторных насосных агрегатов. Обеспечение их надежности достигается исключительно комбинацией жаростойких сплавов и специализированных полимерных покрытий, а эффективность данной защиты напрямую зависит от решения фундаментальной задачи — максимизации адгезионной прочности на границе раздела фаз «металлическое основание — полимер». Надежность сцепления полимерного покрытия с металлическим основанием определяется множеством технологических факторов. Для достижения максимальной прочности соединения необходимо уделить особое внимание трем аспектам: Во-первых, модификации поверхности металла, а именно, направленному изменению микрорельефа (шероховатости) подложки, химической активации поверхности для улучшения ее смачиваемости, применению барьерных методов. Во-вторых, подготовке субстрата: необходима тщательная, качественная предварительная очистка и обработка металла перед склеиванием. И в третьих, необходим строгий термический контроль: соблюдение температурных параметров на этапе нагрева деталей и управление процессом охлаждения готового металл-полимерного узла.

В ходе комплексного исследования оценивалось воздействие технологических параметров на прочность соединения: температуры металлической подложки, толщины полимерного слоя и давления впрыска в литьевой машине. Утверждается, что определяющим фактором для адгезионной прочности является термическое состояние металла.

Отсутствие предварительного нагрева подложки исключает возможность формирования прочной связи. Это обусловлено высокоскоростным охлаждением расплава, препятствующим его диффузии в микрорельеф поверхности металла и блокирующим механизм механического зацепления.

© Кулиш Е.И., Лаздин Р.Ю., Чжанд Синьхуа, Хэ Чуньлэй, 2026

ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИМЕРАМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ В КАЧЕСТВЕ
БИОЧЕРНИЛ ПРИ 3D-БИОПРИНТИНГЕ

Хлескин В.С., Кулиш Е.И.

Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно от ожоговых травм погибает более 300 000 человек. Глубокие поражения кожи требуют аутодермопластики (пересадки собственных тканей). Однако, эффективность этого метода при обширных ожогах значительно ограничена, поскольку неповрежденной кожи для закрытия ран в этом случае не хватает.

В качестве перспективного решения этой проблемы, способного заменить традиционную пересадку кожи, может стать биопринтинг. Биопринтинг — это технология послойного создания на 3D-принтере трехмерных биологических структур (тканей, органов) с использованием живых клеток и специально подобранных полимерных биоматериалов (биочернил). Полимеры играют при этом ключевую роль, формируя «каркас» (матрикс) для поддержания формы, механической прочности и обеспечения жизнеспособности клеток.

Настоящая работа посвящена подбору полимеров, способных выступить в качестве биочернил. Для того чтобы полимер мог эффективно использоваться в 3D-биопринтинге, он должен отвечать ряду жестких физико-химических и биологических критериев: полимер не должен вызывать иммунного ответа или токсического воздействия на клетки и окружающие ткани; он должен способствовать адгезии (прикреплению), пролиферации и дифференцировке клеток; скорость разложения полимера должна соответствовать скорости образования новой ткани клетками. Особые требования предъявляются и к реологическим свойствам полимеров (способности к печати): растворы (или расплавы) полимеров должны быть достаточно текучими, чтобы проходить через сопло, но достаточно вязкими, чтобы держать форму после экструзии. Также растворы полимеров должны обладать свойством псевдопластичности (свойством снижения вязкости при увеличении давления). Это критично для защиты клеток от механического стресса (напряжения сдвига) при прохождении через иглу. Кроме того, полимер должен быстро переходить из жидкого состояния в твердое (гель) сразу после печати, чтобы обеспечить высокую точность структуры. К полимеру предъявляются и особые механические свойства: напечатанный объект должен выдерживать собственный вес и давление в инкубаторе, а механические свойства полимера должны быть близки к свойствам замещающей ткани (например, мягкий гидрогель для мозга или жесткий полимер для кости).

© Хлескин В.С., Кулиш Е.И., 2026

УДК 547.022.764.4

СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА С
ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТОМ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ
КОНТРОЛИРУЕМОЙ РАДИКАЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИХ НА ДЕПРЕССОРНЫЕ СВОЙСТВА
ГИДРООЧИЩЕННОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

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

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород

Полимерные добавки к топливам уже много лет находят свое применение в качестве присадок, улучшающих эксплуатационные характеристики различных нефтепродуктов, в частности дизельного топлива (ДТ). Широко известны присадки на основе высших алкил(мет)акрилатов, способные улучшать низкотемпературные свойства топлива, а именно температуру застывания и предельную температуру фильтруемости.

В данной работе рассматривается применение амфифильных полимеров в качестве депрессоров к ДТ. В качестве липофильного звена был выбран стеарилметакрилат ввиду сродства к парафинам топлива, гидрофильного – глицидилметакрилат – по причине наличия эпоксидного цикла в строении звена. По механизму радикальной полимеризации с переносом атома были получены полимеры стеарилметакрилата с глицидилметакрилатом близких молекулярных масс (20-30 kDa) на глубоких степенях превращения в широком диапазоне мономерных смесей с использованием каталитической системы Cu^+/TRMA /бромсодержащий инициатор, содержащий 1, 2 или 3 активных центра.

Было показано, что функциональность инициатора влияет на конечные свойства топлива при использовании присадки. Для изучения процессов самоорганизации амфифильных сополимеров различного состава на межфазной границе «вода-воздух» были получены изотермы поверхностного давления в условиях сжатия методом пластинки Вильгельми. Подобраны оптимальные условия формирования монослоев (концентрация раствора растекания, скорость сжатия монослоя). Установлено, что полученные сополимеры способны к образованию устойчивых монослоев Ленгмюра с высокими давлениями разрушения (58 мН/м), а площадь, приходящаяся на одну макромолекулу в монослое, зависит от функциональности используемого инициатора и состава сополимера.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-13-00029).

© Криуличев И.П., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф., 2026

**СЕКЦИЯ №3. ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ И ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

УДК 544

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПИРРОЛА И ЛЕНТОЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г.

Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Россия, Башкортостан, Уфа.

Морфология полимеров и композитов имеет ключевое значение для их функциональных свойств, поскольку определяет площадь поверхности, доступность активных центров и эффективность межфазного взаимодействия компонентов, что открывает перспективы для их практического использования.

В представленной работе показаны результаты исследования морфологии полипиррола (PPy) и его композитов с углеродными ленточными нанотрубками (R-CNTs), полученных при различном соотношении компонентов [1]. Морфологию поверхности образцов характеризовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Как видно из рисунка 1, гомополимер характеризуется зернистой структурой и тенденцией к образованию крупных агрегатов. В композитах четко видна оболочка из PPy, равномерно покрывающая поверхность R-CNTs и содержащая сферические наночастицы. Показано, что процесс формирования оболочки из PPy вокруг R-CNTs и размер образующихся частиц закономерно зависят от массового соотношения полимера и нанотрубок.

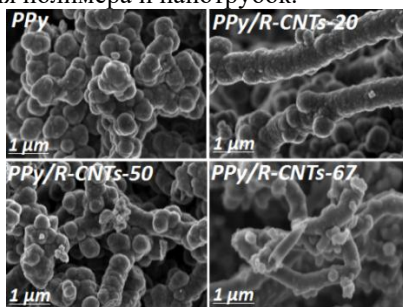


Рис. 1. СЭМ PPy и композитов PPy/R-CNTs-20, PPy/R-CNTs-50, PPy/R-CNTs-67

Работа выполнена по теме госзадания № 125020601600-9

Список использованных источников

1. Aznabaeva M.R. et al. Synthesis and characterization of polypyrrole/ribbon-like carbon nanotubes (PPy/R-CNTs) composites and their exploration for the adsorption removal of Congo Red Dye. *Surfaces and Interfaces*. – 2026. – P. 109218.

©Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г., 2026

УДК 544.18 + 547.992.3

ESP-АНАЛИЗ МОНОЛИГНОЛА Н-ТИПА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПЛАСТИКОВ БЕЗ ВНЕШНИХ СВЯЗУЮЩИХ

Артёмов А.В.

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург

Квантово-химические расчёты методом DFT (теории функционала плотности) широко применяются для предсказания структур и свойств молекул [1]. Лигноцеллюлозные пластики без использования внешних связующих (ПБС) можно получать на основе травянистого сырья [2], лигнотуговодный комплекс которого содержит лигнин Н-типа.

Для мономера лигнина Н-типа были выполнены DFT-расчёты на уровне PBE0-D3(BJ)/def2-TZVP с построением карты электростатического потенциала (ESP), которая отражает распределение зарядов в молекуле, что необходимо для выявления наиболее активных центров. Поверхность ESP монолигнола Н-типа показана на рисунке 1.

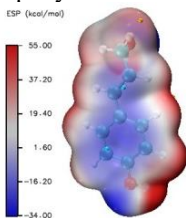


Рис. 1. Поверхность ESP монолигнола Н-типа

Цветовая карта показывает, что вокруг молекулы существуют области с различными значениями ESP. Красный цвет соответствует положительному потенциалу ($\approx +55$ ккал/моль) и электрофильным свойствам, синий отрицательному потенциалу (до -34 ккал/моль) и нуклеофильным свойствам. Переходные оттенки отражают промежуточные значения. Неоднородность ESP указывает на сложную электронную структуру, определяющую химические свойства и реакционную активность монолигнола Н-типа. Полученные данные позволяют прогнозировать направления химических превращений и оптимизировать процессы активации травянистого сырья для получения ПБС.

Список использованных источников

1. Kumar N., Pruthi V., Goel N. Structural, thermal and quantum chemical studies of p-coumaric and caffeic acids. *J. of Molecular Structure*. 2015; 1085: 242-248.
2. An investigation of complexes of lignin found in plant raw materials as a natural binder in obtaining plastic in closed molds / A.V. Artemov, V.G. Buryndin [et al.] // *Polymer Science, Series D*. – 2023. – V.16, N.2. – P.278-284.

© Артёмов А.В., 2026

УДК 621.792

ВЛИЯНИЕ АСФАЛЬТЕНО-СМОЛИСТЫХ ВЕЩЕСТВ НА СВОЙСТВА НЕОТВЕРЖДАЕМЫХ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА БНКС-40АМН

Гараев Н.И., Хакимуллин Ю.Н., Галимзянова Р.Ю.

Казанский национальный исследовательский университет, Республика Татарстан, г. Казань

Неотверждаемые герметизирующие составы на основе бутадиен-нитрильного каучука (БНК) относятся к категории специализированных полимерных систем, применяемых для формирования непроницаемых преград в соединениях, эксплуатируемых при контакте с углеводородными жидкостями. Их ключевыми характеристиками, являются сочетание хорошей адгезии к различным субстратам и высокая устойчивость к нефтяным продуктам.

Для улучшения адгезии к субстратам и улучшения технологических параметров неотверждаемых герметиков, чаще всего используют технологические добавки. В качестве технологических добавок могут быть использованы алкилфенолформальдегидные, асфальтено-смолистые вещества (АСВ), нефтеполимерные смолы, инден-кумароновые, канифоль, и др. [1-4].

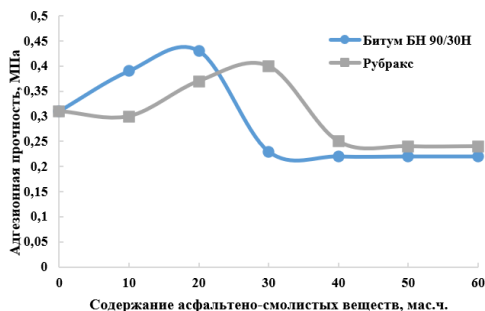


Рис. 1. Влияние асфальтено-смолистых веществ на адгезионную прочность к дюралюминию неотверждаемых герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН.

Далее рассмотрим влияние АСВ на свойства неотверждаемых композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН, а именно влияние рубракса и битума БН90/30Н.

Неотверждаемые герметизирующие композиции смешивались на лабораторном резиномесителе типа «Brabender» с рабочим объемом $V=42\text{см}^3$. Смешивание проводили при температуре 110°C и скорости вращения роторов 60 об/мин в течении 10 мин. НПС вводились в диапазоне 10-60 мас.ч. с шагом 10 мас.ч. в неотверждаемые герметики следующего

состава: бутадиен-нитрильный каучук БНКС-40АМН – 100 мас.ч., мел МТД-2 – 200 мас.ч., хлорпарафин ХП-470А– 60 мас.ч.

Введении 20 мас.ч. битума БН90/30Н в герметизирующую композицию способствует повышению адгезии к дюралюминию в 1,4 раза относительно контрольного образца (рис.1). Данный эффект, вероятно, обусловлен поверхностно-активными свойствами битума, снижающими межфазное натяжение на границе «композиция – металл» и улучшающими смачивание. При увеличении содержания битума БН90/30Н до 30 мас.ч. адгезия снижается до исходного контрольного значения, что может быть связано с формированием избыточной плёнки битума, ослабляющей когезионные связи в поверхностном слое. Дальнейшее увеличение концентрации битума (свыше 30 мас.ч.) не приводит к изменению адгезионной прочности.

При использовании рубракса в качестве технологической добавки выявлена иная кинетика свойств. Адгезия к дюралюминию возрастает до 1,3 раза при введении до 30 мас.ч. рубракса, что несколько ниже максимального эффекта, достигнутого с битумом БН90/30Н. При дальнейшем повышении концентрации до 40 мас.ч. адгезия снижается до 1,2 раза от контроля, а стабилизация наступает при 50 мас.ч., после чего значимых изменений не наблюдается.

Условная прочность (рис. 2а) при растяжении демонстрирует более сложную зависимость. При введении 10 мас.ч. битума БН90/30Н прочность снижается в 3 раза, что указывает на выраженный пластифицирующий эффект, обусловленный внедрением низкомолекулярных фракций битума в полимерную матрицу. При увеличении содержания битума до 30 мас.ч. наблюдается частичное восстановление прочности, чем при 10 мас.ч. Данное явление может быть связано с образованием пространственной сетки за счёт асфальтенов, выступающих в роли физических узлов сшивки. Последующее введение 40 мас.ч. битума приводит к повторному снижению прочности, что соответствует 1,5-кратному уменьшению относительно значения при 30 мас.ч. При дальнейшем увеличении содержания битума до 50 мас.ч. прочность стабилизируется на уровне 0,11 МПа. Подобные осцилляции прочности характерны для систем, в которых наполнитель может как пластифицировать, так и структурировать матрицу в зависимости от концентрации.

Относительное удлинение (рис. 2б) при разрыве при введении 20 мас.ч. битума БН90/30Н возрастает, что свидетельствует об увеличении молекулярной подвижности сегментов каучука. При дальнейшем повышении содержания битума до 30 мас.ч. и выше показатель возвращается к контрольным значениям и остаётся на уровне вплоть до 60 мас.ч. Возвращение к контролю объясняется агрегацией битумных частиц при высоких концентрациях, что ограничивает деформационную способность системы.

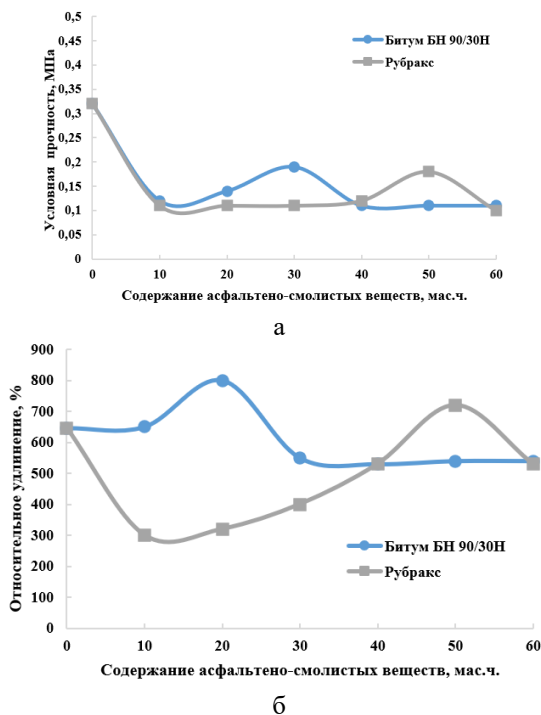


Рис. 2. Влияние асфальтено-смолистых веществ на условную прочность (а) и относительное удлинение (б) неотверждаемых герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН.

При введении рубракса в неотверждаемую композицию до 30 мас.ч. адгезия к дюралюминию возрастает в 1,3 раза относительно контрольного значения, достигая 0,4 МПа. При увеличении содержания до 40 мас.ч. адгезия снижается до 0,25 МПа, и стабилизируется на этом уровне при дальнейшем увеличении до 60 мас.ч.

Условная прочность композиции при введении 10 мас.ч. рубракса снижается в 3 раза, аналогично битуму БН90/30Н. При повышении концентрации до 50 мас.ч. прочность возрастает в 1,6 раза относительно значения при 10 мас.ч., достигая 0,18 МПа, что может быть связано с армирующим действием рубракса, образующего дисперсную фазу с развитой поверхностью раздела. При введении 60 мас.ч. рубракса прочность вновь снижается в 1,6 раза до 0,1 МПа, что указывает на достижение критической

концентрации, при которой наполнитель перестаёт выполнять структурирующую функцию.

Относительное удлинение при введении 10 мас.ч. рубракса уменьшается в 2 раза, что свидетельствует о жёсткости, вносимой частицами рубракса на начальном этапе. При дальнейшем увеличении концентрации до 50 мас.ч. показатель увеличивается до 720%, вероятно, за счёт перераспределения напряжений в объёме композиции при формировании непрерывной фазы рубракса. Однако при 60 мас.ч. относительное удлинение вновь снижается до 530%, что коррелирует с повторным падением прочности и указывает на потерю эластичности системы.

Проведённые исследования показывают, что битум БН90/30Н и рубракс по-разному влияют на комплекс свойств неотверждаемых композиций на основе БНКС-40 АМН. Битум обеспечивает более высокий прирост адгезии (в 1,4 раза против 1,3) и демонстрирует осциллирующее поведение прочности с двумя пиками, что характерно для систем с фазовыми переходами в дисперсной фазе. Используемые АСВ приводят к трёхкратному падению прочности при минимальной концентрации, однако рубракс требует более высоких содержаний для восстановления деформационных свойств.

Список использованных источников

1. Хакимуллин Ю.Н. Неотверждаемые герметизирующие композиции на основе бутилкаучука: монография / Ю. Н. Хакимуллин, М. С. Лисаневич, Р. Ю. Галимзянова. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. –144 с.

2. Галимзянова, Р.Ю. Неотверждаемые герметизирующие композиции на основе бутилкаучука: дис. канд.тех.наук / Р.Ю. Галимзянова. – Казань, 2008. – 153 с.

3. Муртазина, Л.И. Влияние технологических добавок на свойства неотверждаемых герметиков на основе этиленпропилендиенового каучука / Л.И. Муртазина, А.Р. Гарифуллин, И.А. Никульцев, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – №1 (31). – С.134-141.

4. Ахмедгораева, А.Р. Влияние нефтеполимерных смол и наполнителей на свойства неотверждаемых герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука / А.Р. Ахмедгораева, А.А. Стыценов, Р.Ю. Галимзянова, Ю.Н. Хакимуллин // Сборник трудов III международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырьё, технологии». – Нижний Новгород, 2019. – С.190-191.

© Гараев Н.И., Хакимуллин Ю.Н., Галимзянова Р.Ю., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА И ЛЕНТОЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г.
Уфимский институт химии Российской Академии Наук, Россия,
Республика Башкортостан, Уфа.

Одним из перспективных направлений в разработке композитов является интеграция углеродных нанотрубок (УНТ) в полимерные матрицы. Разнообразие структур УНТ в сочетании с обширным потенциалом для функционализации поверхности позволяет разрабатывать нанокompозиты с улучшенными характеристиками. Полианилин (ПАНИ) является одним из наиболее широко изученных полимеров, включение наноструктурированных наполнителей, таких как УНТ, в матрицу ПАНИ значительно улучшает ее физико-химические характеристики, что делает их перспективными кандидатами для различного применения.

В работе [1] были синтезированы новые композиты на основе ПАНИ с ленточными УНТ в различных соотношениях компонентов. Морфология полученных композитов была исследована с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рисунок 1). Как видно из рисунка 1, после включения PANI все композиты R-CNTs-PANI-1-3 демонстрируют образование непрерывного полимерного покрытия вокруг R-CNTs. Этот полимерный слой имеет гладкие внешние контуры и образует однородную аморфную коаксиальную оболочку вдоль поверхностей нанотрубок. Границы полимерного покрытия четко определены и хорошо выровнены, что свидетельствует об успешной инкапсуляции нанотрубок в матрице PANI.

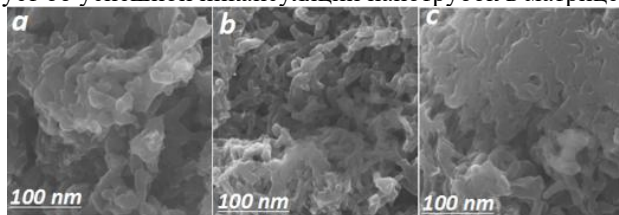


Рис. 1. СЭМ-изображения (а) R-CNTs-1; (б) R-CNTs-2 и (в) R-CNTs-3.
Работа выполнена по теме госзадания № 125020601600-9

Список использованных источников

1. Gordeev D. N. et al. Polyaniline-ribbon-like carbon nanotubes composites: characterizations and applications in removing cationic and anionic dyes from aqueous medium. International Journal of Environmental Science and Technology. – 2026. – V. 23(5). – P. 372

© Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г., 2026

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРОТИВОГРИБКОВАЯ
АКТИВНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТОВ СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ
ZnO

Гулиева Т.М., Курбанова Н.И.

Институт Полимерных Материалов Министерства Науки и
Образования Азербайджанской Республики, Азербайджан, Сумгаит.

В последние годы значительное внимание уделяется разработке полимерных нанокompозитов, модифицированных наночастицами оксидов металлов, благодаря их способности одновременно улучшать механические, термические и биоцидные характеристики материалов. Особый интерес представляют системы на основе функционализированных полиолефинов, в которых наличие полярных групп способствует формированию более эффективного межфазного взаимодействия с неорганическими наночастицами.

Среди различных оксидных наноматериалов ZnO занимает особое место благодаря сочетанию химической стабильности, высокой поверхностной активности и выраженных антимикробных свойств. Введение ZnO в полимерную матрицу позволяет не только повысить эксплуатационные характеристики материала, но и сформировать функциональные поверхности, устойчивые к биологическому загрязнению, что особенно важно для применения в условиях повышенной влажности [1,2].

В данной работе исследованы структура, физико-механические свойства и противогрибковая активность нанокompозита на основе малеинизированного полиэтилена высокого давления, содержащего наночастицы ZnO. Основное внимание уделено взаимосвязи между межфазными взаимодействиями, морфологией и функциональными характеристиками материала.

Установлено, что введение 5 wt.% ZnO приводит к существенному улучшению механических свойств. Предел прочности при растяжении увеличивается с 13.29 МПа для исходного полимера до 16.86 МПа для нанокompозита, что указывает на эффективную передачу напряжений от полимерной матрицы к дисперсной фазе. Одновременно наблюдается значительное увеличение относительного удлинения при разрыве с 400 % до 670 %, что свидетельствует о сохранении высокой пластичности материала при его одновременном упрочнении.

Такое сочетание прочности и деформационной способности является нетипичным для традиционных неорганических наполнителей и обусловлено, по-видимому, равномерным распределением наночастиц и их стабилизацией в функционализированной полимерной матрице. Данные ИК-Фурье спектроскопии подтверждают наличие взаимодействий между ZnO и малеинсодержащими группами полимера, что способствует формированию

более устойчивой межфазной структуры и снижению вероятности агломерации наночастиц.

Установлено также повышение теплостойкости по по Вика с 135 °С для исходного полимера до 140 °С для обоих нанокомпозитов, что связано с ограничением подвижности макромолекулярных цепей в присутствии дисперсной неорганической фазы. При этом показатель текучести расплава изменяется незначительно, что указывает на сохранение технологической перерабатываемости материала и его пригодности для промышленного формования.

Исследование противогрибковой активности показало, что исходный полимер интенсивно подвергается биологическому разрушению при длительном воздействии влажной среды. На его поверхности наблюдается развитие грибковой микрофлоры, включающей *Aspergillus niger*, *Aspergillus ochraceus*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium cyclopium*, *Fusarium moniliforme* и *Fusarium oxysporum*.

В отличие от него, ZnO-содержащий нанокомпозит демонстрирует выраженную устойчивость к биопоражению, характеризующуюся существенным снижением плотности грибкового роста. Эффект ингибирования, вероятно, связан с комплексным механизмом действия ZnO, включающим генерацию активных форм кислорода, нарушение целостности клеточных мембран и снижение адгезии микроорганизмов к поверхности материала.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что введение ZnO наночастиц в функционализированную полимерную матрицу позволяет целенаправленно регулировать структуру и свойства материала, обеспечивая одновременное улучшение механических характеристик, термостойкости и биоцидной активности. Это делает разработанный нанокомпозит перспективным для применения в условиях повышенной влажности и биологически активных сред.

Список использованных источников

1. Barman A., De A., Das M. Stabilization and dispersion of ZnO nanoparticles in PVA matrix // Journal Inorganic and Organometallic Polymers and materials – 2020. – V.30. – P.2248–2257.
2. Wang Z., Bockstaller M., Matyjaszewski K. Synthesis and applications of ZnO/polymer nanohybrids // ACS Material Letter. – 2021. – V. 3(5). – P. 599–621.

© Гулиева Т.М., Курбанова Н.И. 2026

УДК 541.64:678.8

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ НА
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ
ИЗОТАКТИЧЕСКОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА, СОДЕРЖАЩЕГО
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Дуньямалиева А.И., Курбанова Н.И.

Институт Полимерных Материалов Министерства Науки и
Образования Азербайджанской Республики, Сумгаит, Азербайджан

Полипропилен (ПП) благодаря низкой плотности, доступной стоимости и хорошим механическим свойствам широко применяется в различных отраслях промышленности. Вместе с тем для современных областей применения требуется дальнейшее улучшение его эксплуатационных характеристик, в частности прочности, термостойкости и устойчивости к внешним воздействиям. В последние годы большое внимание уделяется разработке полимерных нанокомпозитов на основе ПП с использованием различных наноразмерных наполнителей. Особый интерес представляют углеродные нанотрубки и металлические наночастицы, способные оказывать армирующее действие на полимерную матрицу. Эффективность таких наполнителей во многом определяется их равномерным распределением в объеме полимера и степенью межфазного взаимодействия с макромолекулами ПП. Кроме того, введение нанодобавок может способствовать повышению термической стабильности и жесткости композиций без существенного увеличения массы материала. Однако для расширения областей его применения необходимо повышение прочностных и эксплуатационных характеристик. Одним из перспективных способов модификации полимеров является введение наноразмерных наполнителей. Использование углеродных нанотрубок и металлических наночастиц способствует улучшению механических свойств полипропиленовых композиций, повышению прочности и устойчивости материала к внешним воздействиям. Это связано с улучшением межфазного взаимодействия и более равномерным распределением наполнителей в полимерной матрице [1-2].

В представленной работе получены трехкомпонентные полипропиленовые композиции на основе многослойных углеродных нанотрубок (МСУНТ) и наночастиц оксидов цинка и никеля (ZnO, NiO), а также проведено сравнительное исследование их физико-механических свойств. Образцы получали смешением компонентов на лабораторных вальцах при температуре 160–165°C. Для проведения испытаний из полученных композиций методом прессования при температуре 190°C и давлении 10 МПа были изготовлены пластины толщиной 1 мм. Соотношение

компонентов в композициях составляло: ПП/МСУНТ (100/0.05), ПП /МСУНТ/НЧNiO (100/0.05/0.5) и ПП /МСУНТ/НЧZnO (100/0.05/1.0).

Показано, что введение в состав ПП незначительного количества МСУНТ (0.05 мас.%) способствует изменению физико-механических характеристик композиционного материала. При этом наблюдается повышение относительного удлинения при разрыве (ϵ_r) с 34 до 40 %, а также увеличение теплостойкости по Вика с 165 до 176°C. Повышение теплостойкости, вероятно, обусловлено ограничением подвижности макромолекулярных цепей полимера в присутствии нанонаполнителя. Одновременно отмечается снижение прочности при растяжении (σ_r) в 1,16 раза, что может быть связано с особенностями распределения углеродных нанотрубок в полимерной матрице и формированием локальных областей концентрации напряжений. Установлено, что введение наночастиц NiO и ZnO в состав композита ПП/МСУНТ оказывает различное влияние на свойства исследуемых материалов. Добавление НЧNiO способствует увеличению прочности при растяжении с 31.41 до 32.28 МПа, что, по-видимому, связано с улучшением межфазного взаимодействия между компонентами системы и более эффективной передачей механического напряжения. Кроме того, присутствие наночастиц НЧNiO может способствовать формированию более упорядоченной структуры композита. Введение НЧZnO, напротив, приводит к снижению исследованных показателей, что может быть обусловлено агрегацией наночастиц и ухудшением их совместимости с полимерной матрицей. Полученные результаты свидетельствуют о том, что природа металлсодержащих наночастиц и особенности их взаимодействия с углеродными нанотрубками и полимерной матрицей оказывают существенное влияние на структуру, уровень внутренних напряжений и эксплуатационные свойства полимерных нанокомпозитов.

Список использованных источников

1. Paul D.R., Robeson L.M. Polymer nanotechnology: Nanocomposites. Polymer, 2008, No.49, pp. 3187-3204
2. Choudhary V., Gupta A. Polymer/carbon nanotube nanocomposites. Carbon nanotubes-polymer nanocomposites, 2011, Vol.2011, pp. 65-90

© Дуньямалиева А.И., Курбанова Н.И., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИАНИОННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ефремова С.И., Капитонова М.А., Кольцов Н.И.

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Россия,
Чувашская Республика, Чебоксары

В нефтегазовой промышленности водонабухающие резины (ВНР) применяются для надежной герметизации скважин и предотвращения межпластовых перетоков. В состав ВНР вводят различные гидросорбционные добавки [1-4]. В последнее время в качестве гидросорбционных добавок нашли применение производные целлюлозы, среди которых перспективной является полианионная целлюлоза. В связи с этим нами изучены показатели резины, содержащей бутадиен-нитрильный БНКС-28АМН и изопреновый СКИ-3 каучуки и разные количества полианионной целлюлозы.

В состав исследованной резиновой смеси, наряду с каучуками, входили сера и N,N'-дитиодиморфолин (вулканизирующие добавки), оксид цинка и стеарин (активаторы), N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид (ускоритель вулканизации), полианионная целлюлоза (гидросорбционная добавка) и другие ингредиенты. Полианионная целлюлоза представляет собой порошкообразный, мелкозернистый материал волокнистой структуры, отличающийся оттенками от белого до кремового.

В табл. 1 представлены варианты резиновой смеси с различным содержанием полианионной целлюлозы (от 25,0 до 125,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков).

Таблица 1 – Варианты резиновой смеси

Добавки	Варианты				
	1	2	3	4	5
Полианионная целлюлоза, мас. ч.	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0

Резиновую смесь готовили на вальцах, а затем вулканизовали в прессе. Для полученных вулканизатов определяли физико-механические свойства, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства вулканизатов

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
f_p , МПа	9,5	8,7	6,0	5,3	4,4
ε_p , %	400	345	270	150	110
H , ед. Шор А	68	70	73	73	77
B , кН/м	54	36	32	27	26
S , %	28	24	22	20	18
Примечание: f_p – условная прочность при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; H – твёрдость; B – сопротивление раздиру; S – эластичность по отскоку.					

Из данных табл. 2 видно уменьшение упруго-прочностных показателей вулканизатов и увеличение их твердости при возрастании содержания полианионной целлюлозы в резиновой смеси. Это свидетельствует об уменьшении устойчивости вулканизатов к механическим воздействиям. Допустимыми значениями физико-механических свойств обладают вулканизаты, в которых содержание полианионной целлюлозы не превышает 100,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков.

Список использованных источников

1. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Спиридонов И.С., Кольцов Н.И. Влияние функциональных ингредиентов на физико-механические и эксплуатационные свойства резин для водонефтенабухающих уплотнительных элементов // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 57. № 2. С. 68-73.
2. Ivanova A.V., Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. An investigation of the effect of methyl cellulose and sodium polyacrylate on the hydrosorption properties of a vulcanisate based on chloroprene rubber // International Polymer Science and Technology. 2018. V. 45. N 7. P. 311-314.
3. Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Ефимов К.В., Сандалов С.И., Спиридонов И.С., Кольцов Н.И. Влияние функциональных ингредиентов на физико-механические и эксплуатационные свойства резин для водонабухающих уплотнительных элементов // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 58. № 6. С. 152-157.
4. Ефимов К.В., Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Влияние гидросорбционных полимеров на свойства водонабухающей резины // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 64. №10. С. 90-93.

УДК 678.046:620.5

КОМПАТИБИЛИЗАЦИЯ СМЕСИ ПОЛИЭТИЛЕНА
С ПОЛИАМИДОМ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА КРЕМНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Заикин А.Е., Тумандеев И.Н.

Казанский национальный исследовательский технологический
университет, Россия, Республика Татарстан, Казань.

Смешение разнородных полимеров является сейчас широко используемым способом создания новых высокоэффективных полимерных материалов. Однако смеси полимеров очень часто обладают неудовлетворительными механическими свойствами, что обусловлено слабой адгезией между полимерами. Поэтому задача компатибилизации смесей разнородных полимеров является весьма актуальной. Как правило, в качестве компатибилизаторов используются блок-сополимеры, различные блоки которых идентичны полимерным компонентам смеси. Однако из-за сложности синтеза промышленный ассортимент таких блок-сополимеров крайне мал. Представляло интерес исследовать в качестве компатибилизатора доступные твердые наночастицы. В качестве наночастиц использовали промышленно доступный оксид кремния марки Р175 и технический углерод марки П267Э. Исследована эффективность наночастиц в качестве компатибилизатора смеси линейного полиэтилена (ПЭ) с плотностью 0,92 и полиамида 6/66 (ПА) с температурой плавления 173 °С. Смешение компонентов осуществляли в лабораторном двухроторном микросмесителе закрытого типа при температуре 180°С в течение 7 минут на каждой стадии. Наполнитель предварительно смешивали с расплавом одного из полимерных компонентов (с ПЭ или ПА). Затем полученный концентрат наполнителя смешивали с другим полимерным компонентом.

Смесь ПЭ и ПА имеют очень низкую взаимную адгезию. Поэтому их смесь (50/50) без наполнителя имеет прочность в 10 раз ниже аддитивной, а удлинение почти в 200 раз ниже аддитивного значения. Введение наночастиц приводит к росту прочности (рис. 1) и относительного удлинения смеси. Но оксид кремния существенно повышает механические свойства смеси только при предварительном введении в ПЭ и при его высокой концентрации, порядка 10-15 % масс. При предварительном вводе Р175 в ПА эффект упрочнения незначительный (рис. 1). Технический углерод существенно повышает прочность смеси при его вводе всего 0,5 % масс. (рис. 1). Следует подчеркнуть, что ввод оксида кремния или технического углерода понижает прочность и относительное удлинение отдельно взятых ПЭ и ПА. Поэтому наблюдаемое повышение прочности и относительного удлинения смеси можно объяснить только усилением адгезии между полимерными фазами – компатибилизацией.

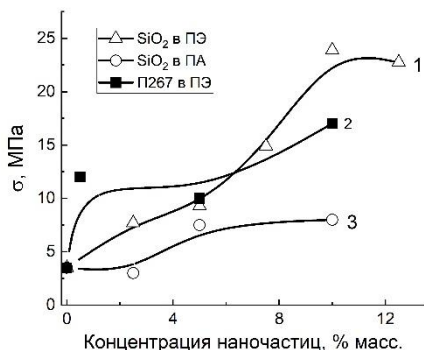


Рис. 1 Зависимость прочности при растяжении смеси ПЭ/ПА (50/50) от содержания наночастиц оксида кремния (1, 3), технического углерода (2); наночастицы предварительно смешаны с ПЭ (1, 2), с ПА (3)

При помощи уравнения Юнга и значений поверхностного натяжения полимеров и наполнителей было рассчитано энергетически наиболее выгодное расположение наночастиц в смеси полимеров. Частицам оксида кремния выгоднее целиком находиться в фазе ПА, что хорошо согласуется с высокими полярностями ПА и поверхности оксида кремния. А техническому углероду выгоднее всего находиться на границе раздела между полимерами, для него коэффициент смачивания оказался равным 0,2.

Была измерена адгезия ПА к наполненному наночастицами ПЭ и ПЭ к наполненному наночастицами ПА. Адгезия ПА к ПЭ растет при повышении концентрации наполнителя в ПЭ, а адгезия ПЭ к ПА мало зависит от концентрации наполнителя в ПЭ.

Учитывая все экспериментальные и расчетные данные, повышении прочности смеси при вводе наночастиц можно объяснить следующим образом. Оксид кремния под действием сдвиговых воздействий при смешении постепенно переходит из фазы расплавленного полиэтилена в фазу ПА. При этом часть наполнителя из-за длительности десорбции макромолекул с твердой поверхности на определенное время задерживается на границе между полимерами. Частицы оксида кремния на границе связывают разнородные фазы и повышают адгезию между полимерами. По-видимому, для присутствия большого количества наночастиц на границе требуется высокая концентрация наполнителя в ПЭ. Частицы технического углерода при смешении накапливаются на границе раздела полимеров. Поэтому достаточно невысокой концентрации технического углерода для заметного повышения адгезии между ПЭ и ПА.

© Заикин А.Е., Тумандеев И.Н., 2026

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНДИЕНОВОГО И БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ

Ильина Ю.А., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И.

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Россия,
Чувашская Республика, Чебоксары

В настоящее время одним из эффективных способов модификации резин является введение в их состав наполнителей, которые позволяют регулировать их технологические (реометрические) показатели и физико-механические свойства [1-3]. В связи с этим в данной работе изучено влияние различных наполнителей на реометрические характеристики резиновой смеси и физико-механические свойства резины на основе этиленпропилендиенового и бутадиен-нитрильного каучуков.

Исследуемая резиновая смесь на основе этиленпропилендиенового S 501A и бутадиен-нитрильного СКН 2645 каучуков включала вулканизирующий агент (серу), ускоритель вулканизации (сульфенамид Ц), активатор вулканизации (белила цинковые), мягчители (канифоль, масло нафтенное НМР-40), технологическую добавку (структол WB 222) и противостарители (диафен ФП, воск ЗВ-П).

Первый вариант резиновой смеси изготавливали с использованием в качестве наполнителя технический углерод П 514. Во втором-шестом вариантах была произведена равномассовая его замена на каолин, диатомиты NDP-230 и NDP-D-400, мел природный и микрокварц, содержание которых составило 20,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре валков 60-70 °С в течение 25 мин. Реометрические показатели резиновой смеси исследовались на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 мин. В табл. 1 представлены реометрические свойства исследуемой резиновой смеси.

Таблица 1. Реометрические свойства резиновой смеси

Показатель	Варианты резиновой смеси					
	1	2	3	4	5	6
$M_{\max}$, дН·м	20,80	17,38	18,13	18,89	15,83	16,59
$M_{\min}$, дН·м	2,87	2,19	2,42	2,33	2,03	2,09
t_s , мин	3,65	4,27	3,24	3,74	4,15	3,92
t_{90} , мин	8,60	9,26	7,84	8,33	8,71	8,32
Примечание: $M_{\max}$ – максимальный крутящий момент; $M_{\min}$ – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации.						

Из данных табл. 1 следует, что замена технического углерода П 514 на различные наполнители приводит к уменьшению максимального и минимального крутящих моментов и увеличению времени начала вулканизации (за исключением третьего варианта резиновой смеси). Наибольшими значениями времен начала и оптимума вулканизации, а, следовательно, лучшими технологическими свойствами обладает второй вариант резиновой смеси, содержащий каолин. В дальнейшем все варианты резиновой смеси вулканизовали при температуре 150 °С в течение 15 мин. В табл. 2 приведены физико-механические свойства полученных вулканизатов.

Таблица 2. Физико-механические свойства вулканизатов

Показатель	Варианты резиновой смеси					
	1	2	3	4	5	6
f_p , МПа	10,0	9,3	9,0	8,5	8,3	8,8
ϵ_p , %	210	310	300	330	310	320
H , ед. Шор А	71	68	68	68	64	64
B , кН/м	40	37	34	28	32	31
S , %	26	27	25	25	25	26
Примечание: f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; B – сопротивление раздиру; S – эластичность по отскоку.						

Из данных табл. 2 следует, что равномассовая замена технического углерода П 514 на дисперсные наполнители приводит к уменьшению условной прочности при растяжении, твердости, сопротивления раздиру и увеличению относительного удлинения при разрыве. При этом эластичность по отскоку вулканизатов практически не меняется. Среди вулканизатов второго-шестого вариантов резиновой смеси наибольшей условной прочностью при растяжении и сопротивлением раздиру характеризуется вулканизат второго варианта, содержащий каолин.

Список использованных источников:

1. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening // Materials Physics and Mechanics. 2023. V. 51. N 6. P. 119-126.
2. Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Исследование влияния диатомитов на свойства резины на основе каучуков общего и специального назначения // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. № 3. С. 93-98.
3. Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Исследование влияния наполнителей на свойства резины на основе этиленпропилендиенового каучука // Материаловедение. 2025. № 11. С. 15-20.

© Ильина Ю.А., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И., 2026

УДК 678.742.2.046:658.567.1

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ
НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ И
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, НА АДГЕЗИЮ ПОЛИЭТИЛЕНА К СТАЛИ

Кулыгин¹ А.В., Вернигоров^{1,2} К.Б., Машуков² В.И., Русанова¹ С.Н.,
Ефремов³ С.А., Казаков¹ Ю.М., Стоянов¹ О.В.

¹КНИТУ, Российская Федерация, Республика Татарстан, город Казань,

²ООО «СИБУР Полилаб», Российская Федерация, город Москва.

³КазНУ им. Аль-Фараби, Республика Казахстан, город Алматы

На сегодняшний день при разработке новых добавок для полимерных материалов особое внимание уделяется использованию ранее невостребованного вторичного сырья, представляющего собой отходы горнодобывающей, металлургической промышленности и сельского хозяйства. В частности, было исследовано влияние углерод-минерального наполнителя (УМН), образующийся при добыче углистых сланцев, и углерод-кремнистого наполнителя (УКН), получаемого высокотемпературной карбонизацией отходов рисоводства, на свойства полиэтилена [1].

С этой точки зрения несомненный интерес представляет низкоуглеродистый шунгит, не используемый в полимерной промышленности и получаемый из техногенных отвалов. При этом средне- и высокоуглеродистые шунгиты используются в качестве наполнителей в производстве резиновых смесей [2], а также электропроводящих композиций [3]. Исходя из условий формирования шунгитов, можно предположить, что в составе низкоуглеродистого шунгита должны присутствовать как минеральная составляющая, преимущественно силикатная, так и органическая, являющаяся продуктом преобразования фито- и зоопланктона и водорослей. Методом ИК-спектроскопии установлено, что в составе низкоуглеродистого шунгита имеется большое количество диоксида кремния, а также присутствуют различные ароматические углеводороды, а также органические соединения с адгезионно-активными кислородосодержащими группами [4].

Поэтому целью данной работы явилось оценка возможности использования шунгита в качестве добавки для полиолефинов, а также сравнение эффективности действия шунгита, УМН и УКН как адгезионно-активного наполнителя.

Адгезионную прочность смесей полиэтилена с различными наполнителями определяли методом отслаивания под углом 90°. Анализ полученных результатов показал, что введение УМН позволяеткратно увеличить адгезию ПЭВД к стали. Шунгитсодержащий наполнитель повысил адгезию на 16%. УКН не проявил адгезионной активности, практически не

повлияв на прочность адгезионного контакта ПЭ/сталь. При этом следует отметить, что из трех рассматриваемых наполнителей шунгит является самым дешевым. Его ориентировочная стоимость ниже стоимости УКН и УМН в несколько раз.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно заключить, что низкоуглеродистый шунгит хоть и в меньшей степени увеличивает адгезию ПЭВД к стали, по сравнению с УМН, но может быть использован в качестве дешевой адгезионной добавки для полиолефинов. Можно предположить, что совместное использование шунгита с адгезионно-активными модификаторами позволит разработать недорогие и достаточно эффективные полимерные адгезионные материалы.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания №075-00021-26-00 от 12.01.2026 (FZSG-2026-0003).

Список использованных источников

1. Бушков В.В., Вернигоров К.Б., Русанова С.Н и др. Влияние наполнителей, получаемых из природного сырья, на адгезионные свойства некоторых полиолефинов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2024. – №12. – С. 2-7. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-12-2-7

2. Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В., Абзальдинов Х.С. Влияние шунгитовых наполнителей различных марок на технические свойства протекторных резин // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19. – №1. – С. 84–87.

3. Рожков, С.С. Электрофизические свойства и структура шунгитонаполненных композиций на основе смесей полипропилена и полиэтилена: автореферат дис. ... кандидата химических наук: 02.00.21 – Москва, 2008. – 26 с.

4. Вернигоров К.Б., Русанова С.Н., Кулыгин А.В. и др. Исследование химического состава шунгита, полученного из техногенных отвалов рудника Бакырчик (Казахстан) // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2026. – №4. – С. 38-43.

© Кулыгин А.В., Вернигоров, К.Б., Машуков В.И., Русанова С.Н., Ефремов С.А., Казаков Ю.М., Стоянов О.В., 2026

УДК 678.046.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА, ТИТАНАТА БАРИЯ И ГРАФЕНА НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Матюхин М.Р., Егоров Е.Н., Смирнов А.В., Терентьев А.А.,

Кольцов Н.И.

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Россия,

Чувашская Республика, Чебоксары

Разработка точных емкостных устройств для измерения давления является актуальной задачей. Миниатюрные сенсоры находят широкое применение во многих важных отраслях: медицина, аэрокосмическая промышленность, авиастроение и автомобилестроение [1, 2]. Конструктивно емкостный датчик давления включает переменный конденсатор, где диэлектрический слой выполнен из резины с диэлектрическими добавками [3]. В связи с этим представляет интерес исследовать реометрические свойства резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-28АМН, содержащей различные диэлектрические добавки.

Исследуемая резиновая смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-28АМН содержала вулканизующий агент – серу, ускоритель вулканизации – N-циклогексил-2-бензотиазолсульфенамид, активаторы вулканизации – цинковые белила ZnO и стеариновую кислоту. В качестве диэлектрических добавок использовали титановые белила TiO_2 и титанат бария $BaTiO_3$, а также графен. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре поверхности валков 60-70 °С в течение 30 мин. В табл. 1 приведены варианты резиной смеси. Первый вариант резиновой смеси содержал диоксид титана в количестве 10,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука, второй вариант – комбинацию диоксида титана (10,0 мас. ч.) и графена (5,0 мас. ч.), третий вариант – диоксид титана (20,0 мас. ч.), четвертый вариант – комбинацию диоксида титана (6,0 мас. ч.) и графена (5,0 мас. ч.), пятый вариант – комбинацию диоксида титана (5,0 мас. ч.) и титаната бария (5,0 мас. ч.) на 100,0 мас. ч. каучука.

Таблица 1 – Варианты резиновой смеси

Добавки	Варианты				
	1	2	3	4	5
TiO_2 , мас. ч.	10,0	10,0	20,0	6,0	5,0
$BaTiO_3$, мас. ч.	–	–	–	–	5,0
Графен, мас. ч.	–	5,0	–	5,0	–

Кинетику вулканизации (реометрические свойства) резиновой смеси изучали на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 мин в

соответствии с ASTM D2084-79. В табл. 2 приведены реометрические свойства исследованных вариантов резиновой смеси.

Таблица 2 – Реометрические свойства резиновой смеси

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
$M_{\max}$, дН·м	10,95	11,17	10,60	12,12	11,35
$M_{\min}$, дН·м	2,15	2,32	2,29	2,30	2,31
ΔM , дН·м	8,80	8,85	8,31	9,82	9,04
t_s , мин	4,64	4,74	5,34	4,56	4,70
t_{90} , мин	24,36	26,92	23,27	25,59	26,40
Примечание: $M_{\max}$ – максимальный крутящий момент; $M_{\min}$ – минимальный крутящий момент; ΔM – разность максимального и минимального крутящих моментов; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации.					

Из табл. 2 следует, что наибольшей разностью максимального и минимального крутящих моментов обладает четвертый вариант резиновой смеси, содержащий комбинацию диоксида титана и графена, а следовательно, вулканизат данного варианта резиновой смеси может характеризоваться наибольшими прочностными показателями. В тоже время, чем больше времена начала и оптимума вулканизации, тем лучшие технологические свойства проявляет резиновая смесь [4]. Поэтому второй и пятый варианты резиновой смеси характеризуются хорошими технологическими свойствами.

Список использованных источников:

1. Huang Y., Fan X., Chen S.C., Zhao N. Emerging technologies of flexible pressure sensors: materials, modeling, devices, and manufacturing // Advanced Functional Materials. 2019. V. 29(12). P. 1808509.
2. Kim S.-W., Oh G.-Y., Lee K.-I., Yang Y.-J., Ko J.-B., Kim Y.-W., Hong Y.-S. A highly sensitive and flexible capacitive pressure sensor based on alignment airgap dielectric // Sensors. 2022. V. 22(19). P. 7390.
3. Смирнов А.В., Терентьев А.А., Баласанян С.А., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И., Васильев С.А. Исследование электрофизических свойств резины на основе бутадиен-нитрильного каучука и технического углерода, как межобкладочного материала // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2025. Т. 68. № 9. С. 99-105.
4. Egorov E.N., Sandalov S.I., Kol'tsov N.I. Study of the influence of dispersed fillers on properties of rubber for gaskets of rail fastening // Materials Physics and Mechanics. 2023. V. 51(6). P. 119-126.

© Матюхин М.Р., Егоров Е.Н., Смирнов А.В., Терентьев А.А.,
Кольцов Н.И., 2026

УДК 541.64:678.8

ПОЛУЧЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Мирзоева Н.А., Курбанова Н.И.

Институт полимерных материалов Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, Az 5004, Азербайджан, Сумгаит

Полимерные нанокompозиты вызывают значительный научный и технологический интерес благодаря способности сочетать малый вес с улучшенными функциональными свойствами. Среди наполненных термопластичных материалов полиэтилен занимает одно из ведущих мест. В настоящее время особое внимание уделяется разработке композиционных материалов с наноразмерными наполнителями. Такие композиты по своим характеристикам превосходят материалы, содержащие микро- и макроразмерные наполнители. Введение даже незначительного количества наноразмерного наполнителя в полиэтилен способствует улучшению барьерных свойств, а также заметно повышает физические характеристики, термическую стабильность и электропроводность материала. Гибридные нанокompозиты, содержащие одновременно наночастицы оксидов металлов (НЧMeO) и многостенные углеродные нанотрубки (МСУНТ), представляют собой перспективный класс многофункциональных материалов. Синергетическое взаимодействие между оксидами металлов и МСУНТ может обеспечивать более равномерное распределение наполнителей и улучшенную межфазную адгезию с полимерной матрицей. Подобные гибридные системы зачастую демонстрируют более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с нанокompозитами, содержащими только один тип наполнителя [1-2].

Представленная работа посвящена получению композитов на основе полиэтиленовой матрицы, содержащих стабилизированные многостенные углеродные нанотрубки (МСУНТ), наночастицы оксида никеля (NiO) и оксида кобальта (CoO), а также исследованию их термогравиметрических характеристик. Нанокompозитные материалы на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) были получены методом смешения в лабораторных вальцах при температуре 130–140 °С. Соотношение компонентов (мас.%): ПЭВД/ НЧCoO(НЧNiO)/МСУНТ (100/1.0/0.05). Для полученных композитов был проведён термический анализ и рассчитана энергия активации термоокислительной деструкции (таблица).

Таблица. Термические свойства исследованных образцов нанокмпозитов

Состав композиции (масс.%)	$T_{10,0}$ С	$T_{20,0}$ С	$T_{50,0}$ С	$\tau_{1/2}$, мин	E_a , кДж/моль
ПЭВД	325	345	380	63.	191.4
ПЭВД /	370	390	420	83.	291.3
ПЭВД /	375	380	385	75.	267.9

Результаты, представленные в таблице, показывают, что модификация ПЭВД наночастицами оксидов металлов и МСУНТ существенно влияет на его термические свойства. По сравнению с исходным ПЭВД для всех нанокмпозитов наблюдается повышение температур T_{10} , T_{20} и T_{50} , что свидетельствует о замедлении процессов термоокислительной деструкции и повышении термической стабильности материалов. Наиболее высокие показатели термостабильности характерны для композиции ПЭВД / НЧСоО / МСУНТ, у которой значения $\tau_{1/2}$ и энергии активации достигают 83,1 мин и 291,38 кДж/моль соответственно. Это указывает на более устойчивую структуру композита и подтверждает, что совместное действие наночастиц оксида кобальта и МСУНТ способствует формированию термически стабильной полимерной матрицы.

Использованные в работе металлсодержащие наночастицы и МСУНТ, располагаясь в межфазном слое структурных элементов ПЭВД-нанокмпозита, в процессе ступенчатого охлаждения расплава способствуют формированию гетерогенных центров кристаллизации, увеличению числа центров кристаллизации, улучшению процесса кристаллизации в целом и образованию сравнительно мелкосферолитной структуры. Проведён СЭМ-анализ образцов полученных нанокмпозитов. Анализ СЭМ показал, что чистые ПЭВД обладают рыхлой, неоднородной морфологией, МСУНТ самостоятельно частично повышают прочность на разрыв, но не обеспечивают полной дисперсии, что приводит к умеренному улучшению механических и термических характеристик. В то время как добавление НЧСоО(НЧNiO) способствует улучшенной дисперсии наполнителя и формированию более однородной глобулярной структуры.

Список использованных источников

1. Михайлин Ю.А. Полимерные нанокмпозиционные материалы // Полимерные материалы. 2009. №7. С. 10-13.
2. Раков Э. Г. Углеродные нанотрубки в новых материалах. Успехи химии. – 2013. – Т. 82(1). – С. 27-47.

© Мирзоева Н.А., Курбанова Н.И., 2026

УДК 691.175.5

ВЛИЯНИЕ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ПРОПИЛЕНА
С ЭТИЛЕНОМ МАРКИ БАЛЕН 01130, НАПОЛНЕННЫХ
СТЕКЛОВОЛОКНОМ И АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

Базунова М.В., Набутова К.В., Табишева Э.И.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Уфа

В настоящее время интенсивно ведутся разработки и исследования в области полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полиолефинов, армирующих компонентов, связующих для них и технологий переработки. Однако, введение наполнителей в полиолефины приводит к существенным изменениям физико-механических свойств получаемых ПКМ [1], а также оказывает значительное влияние на процессы их термической, термо- и фотоокислительной деструкции, а, следовательно, и на сроки эксплуатации пластмассовых изделий на основе полиолефинов.

Перспективным представляется использование в качестве наполнителей полимерных композиционных материалов алюмосиликатные полые микросферы (АСМ) и стекловолокно (СВ). Важным преимуществом использования АСМ в качестве наполнителя является низкая плотность, обеспечивающая удобство использования, большую легкость смешивания, снижение транспортных затрат, низкую просадку и перекося, легкость обработки резанием, сверлением.

Также одним из широко используемых наполнителей является стекловолокно, имеющее отличную прочность и долговечность, термическую стабильность, устойчивость к ударам, химическим веществам, трению и износу. К тому же, стекловолокно обладает конкурентоспособной ценой, малым весом, огнестойкостью и отличными экологическими характеристиками.

Следовательно, для предварительной оценки стойкости материалов на основе Балена, наполненного АСМ и СВ, к факторам внешней среды и, соответственно, для приблизительного прогнозирования срока их эксплуатации может быть проведено ускоренное климатическое старение материалов в условиях, приближенных к натурным.

В качестве метода оценки изменений физико-механических свойств до и после УФ-излучения выбрано испытание на статический изгиб. Этот вид исследований проводят для того, чтобы определить, способен ли материал выдержать заданную пластическую деформацию, чтобы оценить пределы пластичности материала.

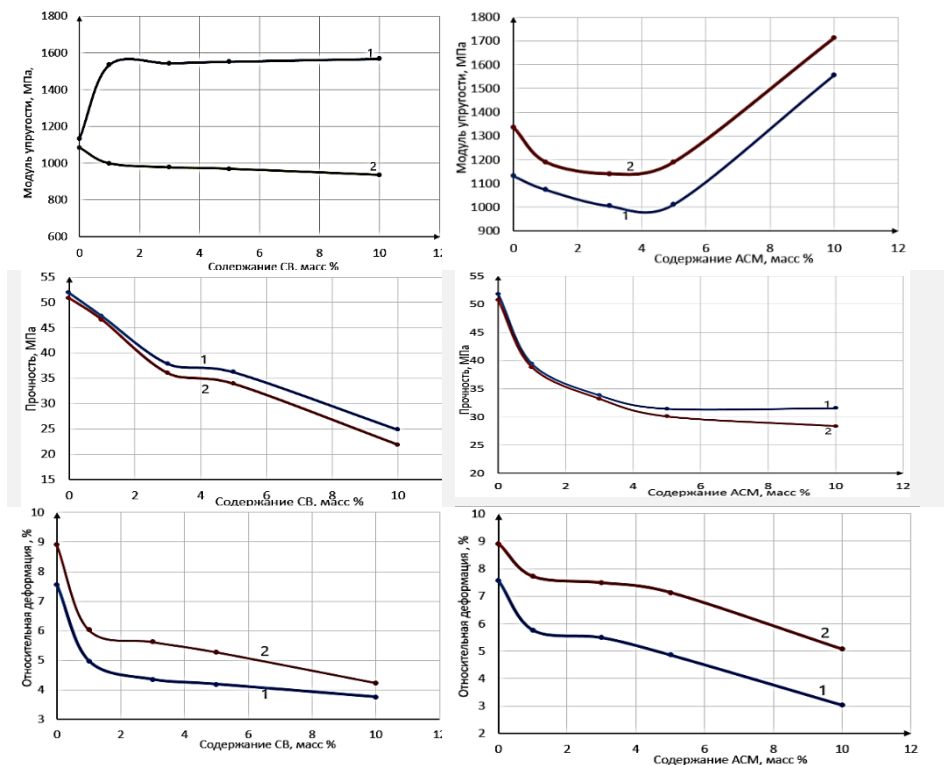


Рис.1. Зависимости физико-механических характеристик, определенных в эксперименте на изгиб в трех точках от содержания наполнителя Балена с АСМ и СВ до (1) и после (2) воздействия УФ-излучения: модуля упругости(а,б); напряжения(в, г); относительного удлинения(д, е)

При изучении изменения физико-механических свойств композита на основе полимерного сырья, наполненного неорганическими наполнителями (СВ и АСМ), подвернутых воздействию УФ-излучения, установлено (рис. 1), что в большинстве случаев увеличение содержания неорганического наполнителя более 10 м.ч. приводит к более существенному ухудшению физико-механических свойств и накоплению кислородсодержащих функциональных групп.

Работа выполнена при финансовой поддержке АНО «УК НОЦ РБ» (договор № ЦДП-РФ-ЛАБ-1/24 от 20.09.2024)

Список использованных источников

1. R.B. Salikhov, M.V. Bazunova, T.R. Salikhov, A.A. Bazunova, V.P. Zakharov. Letters on Materials. 10 (3), 288 (2020). DOI: 10.22226/2410-3535-2020-3-288-293.

© Набутова К.В., Набутова К.В., Табишева Э.И., 2026

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА
ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПЛАВОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Паршина А.С.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Уфа

Устранимые технологические отходы полимерных производств, возникающие в процессе отладки технологических режимов, либо несоблюдении оптимальных условий проведения процессов при синтезе или переработке полимеров, приводят к снижению экономической эффективности предприятий. В частности, при производстве полиэтилентерефталата (ПЭТФ) на всех стадиях технологического процесса происходит образование плавов, количество которых зависит от используемых технологии, оборудования и сырья. Наиболее перспективным путем вторичной переработки плавов ПЭТФ является создание новых композиционных материалов на основе смесей полимеров, например, на базе крупнотоннажных пластиков, таких как полиэтилены высокого (ПВД) и низкого (ПНД) давления, чему и посвящена данная работа.

В качестве объектов исследования служили ПВД и ПНД, плавы ПЭТФ, предоставленные АО «Полиэф», г. Благовещенск. Подготовка отходов ПЭТФ включала измельчение до гранул размером 3–5 мм на низкоскоростном грануляторе MO-Di-Tech для выравнивания состава материала, а также последующую сушку в шкафу LOIP при температуре 50 °С в течение суток. Компаундирование осуществляли в расплаве на лабораторной установке «PlastographEC» (Brabender, Германия) при температуре 190 °С, скорости вращения роторов 30 об/мин и нагрузке 200 Н на протяжении 10 минут. Были получены композиционные материалы с содержанием плавов ПЭТФ 1, 5, 10, 15, 20 и 30 %. Образцы для дальнейших испытаний изготавливали методом горячего прессования на прессе AutoMH-NE (Carver, США) при температуре 210 °С и выдержке под давлением 5000 кгс в течение 10 минут. Испытания физико-механических характеристик при растяжении проводили согласно (ГОСТ 11262-2017), а при трехточечном изгибе — по (ГОСТ 4648-2014) на разрывной машине Shimadzu AGS-X (Shimadzu, Япония). Ударную вязкость определяли по методу Шарпи в соответствии с ГОСТ 4647-80 с использованием автоматического копра Gotech testing machines (Gotech, Тайвань).

В результате проведенных исследований показана принципиальная возможность получения смесевых композиций на основе ПВД и ПНД с плавами ПЭТФ. Введение плавов в полиэтиленовую матрицу практически не отражается на значениях ударной вязкости и модуля упругости (Е) при испытаниях на растяжение, однако при испытаниях на изгиб композиты ПВД-плавы ПЭТФ характеризуются значительным уменьшением Е, возможно за счет достижения предела текучести композита.

© Паршина А.С., 2026 г.

УДК 674.04:678.01:539.6

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРОВ

Потапов¹ О.А., Вернигор^{1,2} К.Б., Машуков² В.И., Русанова¹ С.Н.,
Казаков¹ Ю.М., Стоянов¹ О.В.

¹ФГБОУ ВО КНИТУ, РФ, РТ, г. Казань

²ООО «Сибур ПолиЛаб», РФ, г. Москва

В настоящее время растет использование вторичного сырья в качестве различных добавок, полученных из растительных отходов. Следовательно, применение данного вторичного сырья может представлять повышенный интерес в качестве добавок для различных полимерных материалов.

Эластомерные композиции широко применяются в изделиях герметизирующего и адгезионного назначения [1,2]. Также в случае пиролиза вторичного сырья растительных отходов (ВС), могут образовываться смоляные побочные продукты пиролиза, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве добавок для каучуков.

В данной работе была изучена возможность добавления ВС в модельные системы на основе эластомеров: бутилкаучука (БК), бутадиен-нитрильного каучука (БНКС) и хлорсульфированного полиэтилена (ХСПЭ), в качестве добавки адгезионного назначения.

Модельные системы готовили в закрытой смесительной камере пластикордера Brabender в течение 3-5 минут при скорости вращения роторов 60 об/мин. Формирование образцов осуществляли в гидравлическом прессе при 70 °С, давлении 10 МПа в течение 30 мин.

Для изучения адгезионных свойств применяли стандартную методику – определение прочности связи со сталью марки Ст.3 при нормальном отрыве (ГОСТ 209-75).

Проведенные испытания показали, что адгезионная прочность растет с увеличением содержания ВС до 5 мас.ч. Так, для модельной системы на основе ХСПЭ адгезионная прочность выросла на 3,6 МПа при 5 мас.ч. ВС и до 2,0 МПа при 10 мас.ч. ВС, при 0 МПа при содержании ВС 0 мас.ч. Рост адгезии для системы на основе БНКС составил от 0 МПа (при 0 мас.ч. ВС) до 0,7 МПа (при 5 мас.ч. ВС) и до 0,1 МПа (при 10 мас.ч. ВС). Для композиций на основе БК рост адгезионной прочности составил от 0 МПа (при 0 мас.ч. ВС) до 0,5 (при 2,5 мас.ч. ВС) и до 0,3 (при 5 и 10 мас.ч. ВС).

Таким образом, можно сделать вывод, что введения ВС до 5 мас.ч. для систем на основе БНКС и ХСПЭ и до 2,5 мас.ч. для БК ведет к увеличению адгезионной прочности. Введение ВС сверх указанных мас.ч. приводит к ухудшению адгезионной прочности. Дальнейшее изучение ВС в качестве адгезионной добавки для эластомерных композиций представляет несомненный интерес.

*Исследование выполнено в рамках Государственного задания
№ 075-00021-26-00 от 12.01.2026 (FZSG-2026-0003).*

Список использованных источников

1. Адгезивы на основе хлорсульфированного полиэтилена (обзор) / Х. С. Абзальдинов, К. Б. Вернигоров, В. И. Машуков [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2025. – № 11. – С. 14-21.
2. Слободкина К. Н., Вернигоров К. Б., Казаков Ю. М., Стоянов О. В. Адгезионные свойства композиций на основе смесей бутадиен-нитрильный каучук – тиокол, модифицированных канифолью // Клеи. Герметики. Технологии. 2025. № 1. С. 2-7.

© Потапов О.А., Вернигоров К.Б., Машуков В.И., Русанова С.Н.,
Казаков Ю.М., Стоянов О.В., 2026

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СКЭПТ И ПОЛИПРОПИЛЕНА

Раслан А., Просочкина Т.Р., Атнабаева Э.Р.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Россия, Уфа

Термопластичные вулканизаты (ТПВ) — это многофункциональные полимерные материалы, классифицируемые как термопластичные эластомеры. Материалы ТПВ состоят из большого количества сшитого эластомера в качестве дисперсной фазы и небольшого количества непрерывной термопластичной матрицы [1]. Таким образом, они сочетают в высокую эластичность обычных каучуков с технологичностью и возможностью вторичной переработки термопластов.

ТПВ широко используются в промышленности: автомобильной, бытовой технике, электронике и других отраслях, поскольку являются более «экологичными» по сравнению с традиционными сшитыми эластомерными материалами [2]. Несмотря на то, что в настоящее время производятся различные виды ТПВ, например, сополимер полипропилена (ПП)/этиленоктена, ПП/натуральный каучук или полиэтилен, ПП/бутилкаучук и т.д., наиболее распространенной является система ТПВ СКЭПТ/ПП.

Динамическая вулканизация (ДВ) — это сложная технология реактивного смешения полимеров при производстве ТПВ [3, 4]. В этом случае сшивание и разрушение резиновой фазы происходят одновременно, что приводит к инверсии фаз во время динамической вулканизации [5].

Наиболее широко используемыми сшивающими агентами для ТПВ СКЭПТ/ПП являются пероксиды и фенольные смолы [6, 7]. Низкие значения остаточной деформации при сжатии и высокая термостойкость целевых продуктов являются важными преимуществами сшивания ТПВ с применением пероксидов. Однако возможность протекания процессов окисления во время сшивания и возможность вступать во взаимодействие с другими компонентами, такими как масла, антиоксиданты и некоторые наполнители являются недостатками этого процесса. Также ПП при динамической вулканизации ПП подвергается реакциям разрыва β -цепей, что приводит к снижению его молекулярной массы.

Для устранения этих недостатков применяются коагенты [8]. Эти вещества образуют поперечные связи между цепями эластомера и повышают эффективность сшивания пероксидом за счет уменьшения нежелательных реакций обрыва [9]. Влияние различных коагентов на свойства ТПВ на основе СКЭПТ/ПП широко изучалось в литературе [10]. Исследователи проанализировали эффективность коагентов – триаллилцианурата (ТАЦ), триаллилизоцианурата (ТАИЦ), триметилпропантриакрилата (ТМПА) и

N,N'-м-фенилендималеимида (МФДМ). Выявлено, что среди исследованных коагентов соединения, содержащие ТАЦ, проявляют лучшие механические свойства по сравнению с другими веществами [11, 12].

Список использованных источников

1 Antunes C.F., van Duin M., Machado A.V. Morphology and phase inversion of EPDM/PP blends—effect of viscosity and elasticity // *Polymer Testing*. 2011. Vol. 30. P. 907–915.

2 Liang Y., Wang H., Li J., Wu S., Han W., Kang H., Fang Q. Green Thermoplastic Vulcanizates Based on Silicone Rubber and Poly(butylene succinate) via in situ Interfacial Compatibilization. *ACS Omega*. 2021;6:4461–4469.

3 Nakason C., Wannavilai P., Kaesaman A. Effect of Vulcanization System on Properties of Thermoplastic Vulcanizates Based on Epoxidized Natural Rubber/Polypropylene Blends // *Polymer Testing*. 2006. Vol. 25. P. 34–41.

4. Nakason C., Jarnthong M., Kaesaman A., Kiatkamjornwong S. Thermoplastic Elastomers Based on Epoxidized Natural Rubber and High-Density Polyethylene Blends: Effect of Blend Compatibilizers on the Mechanical and Morphological Properties // *Journal of Applied Polymer Science*. 2008. Vol. 109, no. 5. P. 2694–2702.

5. Nicolini, A. Dynamically Vulcanized PP/EPDM Blends: Influence of Curing Agents on the Morphology Evolution // *Journal of Applied Polymer Science*. 2008. Vol. 109. P. 3093–3100.

6. Patermann, S., Altstädt, V. Influence of different crosslinking systems on the mechanical and morphological properties of thermoplastic vulcanizates // *AIP Conference Proceedings*. 2015. Vol. 1664. P. 120002.

7. Wang R., Peng Z., Fan P.P. Effect of peroxide content on morphology and properties of thermoplastic vulcanizates based on PP and NR // *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 284–286. P. 1854–1860.

8. Varghese S., Alex R., Kuriakose B. Natural Rubber-Isotactic Polypropylene Thermoplastic Blends // *Journal of Applied Polymer Science*. 2004. Vol. 92, iss. 4. P. 2063–2068.

9. Henning S. K., Boye W. M. Fundamentals of curing elastomers with peroxides and coagents II: understanding the relationship between coagent and elastomer // *Rubber World*. – 2009. – Vol. 240, iss. 4. –P.31–39.

10. Dikland H. G., Ruardy T., van der Does L., Bantjes A. New coagents in peroxide vulcanization of EPM // *Rubber Chemistry and Technology*. — 1993. — Vol. 66, № 5. — P. 693–711.

11. Kodal M. Dinamik Olarak Vulkanize Edilmiş PP/SR Harmanlarının Mekanik, Isıl ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi // *DÜMF Mühendislik Derg.* – 2018. – Vol. 9, iss. 3. – P. 325–335.

12. Mali M., Kadam P., Mhaske S. Preparation and Characterization of Vinyltrimethoxysilane and Dicumyl Peroxide–Cured (Ethylene Propylene Diene Monomer)/Polypropylene Thermoplastic Vulcanizates // *Journal of Vinyl and Additive Technology*. — 2017. — Vol. 23, iss. 4. — P. 312–320.

© Раслан А., Просочкина Т.Р., Атнабаева Э.Р., 2026

УДК 678

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШИПОВАННЫХ ШИН ОБЕСЕЧИВАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОШИПОВКИ В ПРЕДЕЛАХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СРОКА СЛУЖБЫ ШИНЫ

Соколов О.Г., Вольфсон С.И.

ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский
технологический университет, Россия, Республика Татарстан, Казань.

Авторами предлагается новая запатентованная технология - способ изготовления зимних шипованных шин с использованием вулканизованного кольцевого ленточного протектора [1].

Специфика изготовления шипованных шин по новой технологии определяется следующими технологическими операциями: 1) изготовление протекторного кольца из профилированной ленты сырой резины; 2) вулканизация протекторного кольца в пресс-форме с заданным рисунком и штифтами, формирующими в протекторе сквозные отверстия необходимого размера и профиля; 3) ошиповка вулканизованного протектора с внутренней стороны; 4) сборка (объединение) шипованного протектора и сырого каркаса; 5) финальная вулканизация собранной заготовки шины в «лысой» пресс-форме, у которой элементы, формирующие боковины шин, выполнены в заданной геометрии и дизайне, а элементы формирующие рисунок протектора шины, имеют гладкую поверхность необходимого профиля с экваториальными проточками для вставок шипов [2].

Испытания опытных образцов шин, выявили следующее преимущество по сравнению с серийными шинами: 1) шипы не вылетают из протектора при экстренных маневрах торможения и ускорения автомобиля; 2) испытания по показателю силы удержания шипа в резине протектора при приложении силы под углом 90 градусов обеспечило усилие удержания – 280 Н (серийные шины 240 Н) под углом 45 градусов обеспечило усилие удержания – 360 Н (серийные шины 270 Н); 3) дорожные ресурсные испытания, зафиксировали на пробеге 40 000 км. сохранность ошиповки (шипы не вылетают) на опытных шинах и потерю шипов в объеме 20 % на серийных шинах [2].

Список использованных источников

1. Патент РФ. RU 2 779125 C1. Оpubл. 01.09.2022, Бюл. № 25.
2. Соколов О.Г., Вольфсон С.И. Новая технология изготовления Автомобильных шипованных шин с использованием вулканизованного кольцевого ленточного протектора // Вестник технологического университета. 2025. Т. 28 №12. С. 69-72.

© Соколов О.Г., Вольфсон С.И., 2026

УДК 541.64:541.68

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПЛАВОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Шайдиянов А.И.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Уфа

Рост объемов полимерных отходов обуславливает актуальность их переработки и повторного использования. Особый интерес представляют поликонденсационные отходы полиэтилентерефталата (ПЭТФ), образующиеся при производстве продукции и наладке технологического оборудования. Несмотря на близость химической природы к товарному ПЭТФ, поликонденсационные отходы могут отличаться молекулярно-массовыми характеристиками, степенью кристалличности и структурой макромолекул. Традиционные методы переработки подобных отходов, основанные на деполимеризации, являются экономически затратными, что обуславливает актуальность поиска альтернативных подходов к их вовлечению в рециклинг. Одним из перспективных направлений является использование отходов ПЭТФ в составе композиционных материалов на основе крупнотоннажных термопластов.

В работе исследовано влияние содержания отходов ПЭТФ на физико-механические свойства полипропиленовых композитов. В качестве компонентов использовали полипропилен и плавы ПЭТФ производства АО «ПОЛИЭФ». Предварительно отходы ПЭТФ измельчали до гранул размером 3–5 мм и подвергали сушке при 50 °С в течение 24 ч. Получение композиций осуществляли методом смешения в расплаве на лабораторной станции PlastographEC (Brabender, Германия) при температуре 190 °С, скорости вращения роторов 30 об/мин и продолжительности смешения 10 мин. Содержание отходов ПЭТФ варьировали в диапазоне от 1 до 30 %.

Образцы для механических испытаний получали методом горячего прессования при температуре 210 °С и выдержке под давлением 5000 кгс в течение 10 мин. Оценку свойств композитов проводили методами одноосного растяжения, трехточечного изгиба и определения ударной вязкости по Шарпи.

Установлено, что введение плавов ПЭТФ в полипропиленовую матрицу практически не оказывает влияния на прочностные характеристики материалов при растяжении и изгибе. При этом наблюдается снижение ударной вязкости композитов с увеличением содержания ПЭТФ, что, вероятно, обусловлено недостаточной совместимостью компонентов и слабой межфазной адгезией.

© Шайдиянов А.И., 2026

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНА НА АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ

Яхина Г.С., Базунова М.В.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа

Переработка и эксплуатация термостойких полимеров приводит к старению материала. Процесс старения может быть вызван воздействием тепла, влиянием окислителей и излучением, что сопровождается изменением свойств материала, а именно: изменением цвета, увеличением хрупкости, снижением эластичности и механической прочности. Избежать процесса старения полимерного материала можно путем наполнения полимера.

Полипропилен - это влагостойкий, технологически гибкий и безопасный термопластичный полимер. Благодаря химической стойкости полипропилена его используют для хранения и транспортировки агрессивных жидкостей. Полипропилен чувствителен к ультрафиолетовому излучению и влиянию кислорода, что приводит к термическому, термоокислительному и световому старению.

В данной работе представлено влияние степени наполнения полипропилена стекловолокном (СВ) и алюмосиликатными полыми микросферами (АСМ) для приблизительного прогнозирования срока эксплуатации композиционных материалов. СВ представляет собой материал в форме волокон, получаемый из стекла. Данный наполнитель обладает хорошей коррозионной стойкостью, высокой прочностью на разрыв и гидрофобностью. Наполнитель АСМ представляет собой силикатные шарики, внутренняя полость которых заполнена азотом и диоксидом углерода.

Цель работы заключалась в предварительной оценке стойкости материалов на основе ПП в присутствии неорганических наполнителей АСМ и СВ к факторам внешней среды при ускоренном климатическом старении материалов в условиях, приближенных к натурным.

Для изучения изменения физико-механических свойств композитов на основе полимерного сырья в присутствии неорганических наполнителей под действием факторов внешней среды был использован везерометр QUV производства Q-Lab (Огайо, США). Для проведения испытаний по воздействию УФ-излучения без орошения задается цикл испытаний, включающий в себя УФ-излучение (интенсивность излучения 0,89 Вт/м² при 340 нм, температура 450С). Длительность излучения 240 ч. Одним из показателей атмосферостойкости является изменение физико-механических характеристик материалов под действием факторов окружающей среды. Результаты исследования зависимости физико-механических характеристик

композиций ПП – АСМ, определенных в эксперименте на разрыв, от содержания наполнителя до и после воздействия УФ-излучения на воздухе представлены на рисунке 1.

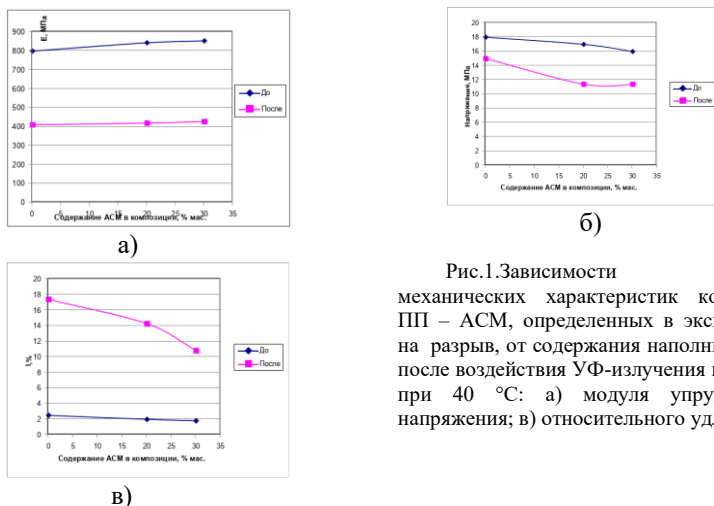


Рис.1.Зависимости физико-механических характеристик композиций ПП – АСМ, определенных в эксперименте на разрыв, от содержания наполнителя до и после воздействия УФ-излучения на воздухе при 40 °С: а) модуля упругости; б) напряжения; в) относительного удлинения.

При изучении изменения физико-механических свойств композита установлено, что зависимости модуля упругости, разрывного напряжения и разрывного удлинения от соотношения компонентов после воздействия факторов внешней среды в целом аналогичен подобным зависимостям немодифицированных образцов, а увеличение содержания неорганического наполнителя более 5 % приводит к более существенному ухудшению физико-механических свойств после воздействия факторов внешней среды.

Список использованных источников

1. Базунова, М. В. Влияние силикатсодержащих наполнителей на перерабатываемость и свойства полимерных композиций на основе поливинилиденфторида / М. В. Базунова, К. В. Набутова, Г. С. Яхина // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 12. – С. 49-53. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_12_49. – EDN MHFKMV

© Яхина Г.С., Базунова М.В., 2026

УДК 691.175.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ И ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ.

Хабибуллин И.И., Асадуллин А.А., Псянчин А.А.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, Республика
Башкортостан, Уфа.

Развитие технологий полимерной 3D-печати сопровождается созданием новых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Одним из эффективных подходов к модификации свойств фотополимерных смол является введение функциональных наполнителей. В качестве таких добавок могут использоваться мел, оксиды металлов и различные порошкообразные вещества, обладающие химической инертностью. Особый интерес представляет применение гидроксида алюминия, что связано с его доступностью, сравнительно низкой стоимостью, а также способностью снижать горючесть полимерных материалов.

В связи с этим целью данной работы является исследование влияния гидроксида алюминия на физико-механические свойства фотополимерной смолы.

Образцы для испытаний были получены методом УФ-печати с использованием 3D-принтера PHOTON MONO M5s PRO. На предварительном этапе в специализированном программном обеспечении были спроектированы модели лопаток и брусков, предназначенные для оценки механических характеристик материала. Физико-механические свойства изготовленных образцов определяли методом испытания на ударную вязкость на маятниковом копре Gotech PRO GT-7045-NM, на испытательной машине Shimadzu Autograph AGSX, испытательной машине Shimadzu AGS-X.

В результате проведённых экспериментов установлено, что введение гидроксида алюминия в фотополимерную смолу приводит к существенному повышению ударной вязкости композита: при содержании наполнителя 20 мас. % данный показатель увеличился более чем в 5 раз по сравнению с ненаполненной смолой (с 2809,83 до 14654,46 Дж/м²).

Испытания на трёхточечный изгиб показали нелинейную зависимость свойств от концентрации наполнителя. Максимальный модуль упругости (1599,95 МПа) и предел прочности при изгибе (48,11 МПа) достигнуты при 20 мас. % гидроксида алюминия, однако при 15 мас. % наблюдалось некоторое снижение прочности (30,57 МПа).

При растяжении с увеличением доли наполнителя отмечено повышение модуля упругости (с 965,58 до 1126,46 МПа) при незначительном снижении прочности (с 26,00 до 22,16 МПа) и уменьшении относительной деформации (с 7,2 до 4,07 %).

© Хабибуллин И.И., Асадуллин А.А., Псянчин А.А. 2026

СЕКЦИЯ №4. ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ СЕТКИ УЗЛОВ В РАСТВОРАХ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа.

Стабильность характеристик полимерных материалов на основе поливинилового спирта (ПВС) определяется архитектурой невалентных взаимодействий. В водных растворах ПВС формирование сетки зацеплений сопровождается конкуренцией между гидратацией макромолекул и образованием межцепных водородных связей [1-2]. В работе методом полноатомного молекулярно-динамического моделирования проведена оценка энергетического профиля систем в диапазоне концентраций 8–13 мас.% для выявления факторов структурной перестройки растворов.

Анализ энергетических профилей систем в равновесном состоянии выявил качественную трансформацию структуры невалентных взаимодействий. Установлено, что при увеличении концентрации ПВС с 8% до 13% абсолютное значение электростатической энергии закономерно снижается с $-1,61 \cdot 10^4$ до $-1,04 \cdot 10^4$ ккал/моль, что обусловлено сокращением числа молекул растворителя в моделированном объеме. Однако расчёт удельной плотности энергии на единицу объема ячейки продемонстрировал обратную тенденцию: рост показателя с 0,43 до 0,47 ккал/моль $\text{\AA}^{-3}$. Несмотря на кажущуюся близость значений, данное увеличение на 9,3% является физически значимым, так как оно происходит на фоне существенного дефицита растворителя в системе (сокращение числа молекул воды на 40%). Это указывает на то, что убыль энергии гидратации полностью компенсируется формированием более сильных межцепных контактов ПВС-ПВС.

Таким образом, в 13% системе наблюдается эффект локализации энергии в узлах сетки, что приводит к качественному упрочнению структуры и создает дополнительные энергетические барьеры для миграции ионов.

Список использованных источников

1. Ni, Q. Effect of Hydrogen Bonding on Dynamic Rheological Behavior of PVA Aqueous Solution / Q. Ni, W. Ye, M. Du [et al.] // Gels. — 2022. — Vol. 8, no. 8. — Art. 518. — DOI: 10.3390/gels8080518.
2. Tang, Y. Behaviors of water molecules in polyvinyl alcohol gel amid stretch and temperature changes: A molecular dynamics study / Y. Tang, Z. Yu, L. Tam [et al.] // Materials Today Communications. — 2022. — Vol. 33. — Art. 104834. — DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.104834.

© Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕТКИ ЗАЦЕПЛЕНИЙ НА ТОПОЛОГИЮ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ В ФОРМОВОЧНЫХ РАСТВОРАХ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа.

Разработка биомедицинских наноматериалов методом электроспиннинга требует контроля параметров исходных растворов. Эффективность транспорта лекарственных веществ в матрице поливинилового спирта (ПВС) лимитируется плотностью сетки зацеплений [1-2]. В работе методом атомистического моделирования исследована эволюция свободного объема и топологии транспортных каналов в растворах ПВС в диапазоне концентраций 8–13 мас.% для оптимизации составов с заданными терапевтическими свойствами.

Построение полноатомных моделей растворов ПВС осуществлялось в модуле Amorphous Cell (силовое поле COMPASS II). Для обеспечения статистической достоверности результатов была сконструирована серия ячеек в диапазоне концентраций от 8 до 13 мас.% с шагом 1%. Параметры решетки варьировались от 33,4 до 28,0 Å. Для каждой модели была проведена многоступенчатая оптимизация геометрии алгоритмом Smart Minimizer до достижения сходимости по энергии. Анализ свободного объема и доступной поверхности проводился методом поверхностей Конноли с использованием зонда радиусом 1,4 Å, что соответствует геометрическим размерам молекулы растворителя и гидратированных ионов. Анализ полученных данных выявил устойчивую тенденцию к сокращению транспортных путей при росте концентрации ПВС. Установлено, что увеличение массовой доли полимера с 8% до 13% приводит к снижению свободного объема с 13,03% до 10,80%. При этом параметр доступной площади поверхности демонстрирует более резкое падение – на 45%, что свидетельствует не только о геометрическом сжатии системы, но и о качественной перестройке её топологии.

Моделирование показало, что при росте концентрации ПВС до 13% свободный объём системы сохраняется на достаточном уровне. Несмотря на сужение транспортных каналов, система остается проницаемой для носителей заряда. Рост плотности полимерной сетки способствует упорядочиванию путей миграции ионов.

Список использованных источников

1. Zhang, J. State of water in poly(vinyl alcohol) hydrogels: Molecular dynamics simulation / J. Zhang, H. Wu, J. Wang [et al.] // Computational Materials Science. – 2017. – Vol. 131. – P. 125–130. – DOI: 10.1016/j.commatsci.2016.12.023.
2. Jiang, X. Molecular dynamic simulation on the state of water in Poly (vinyl alcohol) hydrogel / X. Jiang, C. Wang, Q. Han // Computational and Theoretical Chemistry. — 2017. — Vol. 1102. — P. 125–130. — DOI: 10.1016/j.comptc.2016.12.041.

© Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р., 2026

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АТОМИСТИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА И ОПТИМИЗАЦИИ АМОΡФНЫХ ЯЧЕЕК ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ СИСТЕМ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа.

Эффективность молекулярно-динамического моделирования растворов поливинилового спирта (ПВС) критически зависит от качества начальной конфигурации атомистической модели. Главной проблемой при формировании сетки зацеплений является достижение термодинамического равновесия в условиях высокой плотности упаковки [1-2]. В работе предложены методические аспекты точного построения аморфных ячеек ПВС и многостадийной минимизации потенциальной энергии для повышения прогностической способности моделирования биомедицинских материалов.

Ключевым этапом алгоритма является корреляция размеров периодической ячейки с экспериментальной плотностью растворов. Для исключения артефактов самопересечения цепей определен оптимальный размер ребра в диапазоне 28,0–33,4 Å. Базовым элементом служила макромолекула ПВС ($n=40$), обеспечивающая репрезентативность выборки при вычислительной эффективности. Особое внимание уделено релаксации напряжений плотных систем. Стратегия многостадийной оптимизации энергии алгоритмом Smart Minimizer позволила избежать локальных минимумов и подготовить систему к расчету динамики с шагом 0,5 фс. Силовое поле COMPASS II адекватно описало систему водородных связей, что подтверждается стабильностью полной энергии симуляции. Эффективность подхода подтверждена на шести независимых моделях в диапазоне концентраций ПВС 8–13 мас.%. Оптимизированный алгоритм сборки обеспечивает высокую сходимость: флуктуации потенциальной энергии после релаксации не превышали 0,01%. Протокол выявил монотонный характер изменения свободного объема. Верификация по параметру Surface area показала достаточность масштаба ячейки для описания топологии транспортных каналов.

Таким образом, предложенная методика является универсальным инструментом для оперативного скрининга структурных характеристик полимерных систем различной концентрации.

Список использованных источников

1. Hollingsworth, S. A. Molecular Dynamics Simulation for All / S. A. Hollingsworth, R. O. Dror // Neuron. — 2018. — Vol. 99, no. 6. — P. 1129–1143. — DOI: 10.1016/j.neuron.2018.08.011.
2. Sacristan, J. Influence of water content on structure and mobility of polyvinyl alcohol: A molecular dynamics simulation / J. Sacristan, C. Mijangos // The Journal of Chemical Physics. – 2008. – Vol. 129, no. 15. – Art. 154907. – DOI: 10.1063/1.2994731.

© Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р., 2026

ХИТОЗАНОВЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ, ДЛЯ ИМПЛАНТОВ

Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С.

Уфимский университет науки и технологии, Уфа, Россия

Титановые имплантаты широко применяются в травматологии и стоматологии, однако их главный недостаток — биоинертность. Такая поверхность не способна активно направлять клеточные и тканевые реакции, а в агрессивной хлоридсодержащей среде организма при регулярных нагрузках развивается локальная коррозия и выделяются продукты износа. Перспективное решение — создание на поверхности имплантатов многофункциональных полимерных покрытий, которые одновременно защищают от коррозии, препятствуют размножению бактерий и ускоряют восстановление костной ткани. Оптимальным кандидатом для этой роли выступает хитозан — природный положительно заряженный полисахарид, который совместим с тканями, способен к биологическому разложению, образует прочные плёнки и сам обладает бактерицидными свойствами. Наиболее удобным технологическим приёмом нанесения таких покрытий считается электроосаждение (катодное или электрофоретическое), так как оно проводится в мягких водных средах, позволяя гибко настраивать толщину и структуру слоя через параметры процесса и пригодно для деталей любой сложности.

Целью работы является научное обоснование и экспериментальное получение методом электроосаждения хитозановые покрытия на медицинских титановых подложках (чистый титан и сплав Ti-6Al-4V), а затем комплексно оценить их морфологию, химический состав, адгезионную прочность и защитные свойства.

Образцы титана прошли стандартную механическую и химическую подготовку. Хитозан растворяли в уксусной кислоте, варьируя концентрацию полимера (0,5–1,5%) и уровень pH (3,5–5,0). Осаждение вели в лабораторной электрохимической ячейке с платиновым противоеlectродом; роль рабочего электрода (катода) выполнял титановый образец. Длительность эксперимента составляла от 1 до 30 минут при фиксированном напряжении или заданной плотности тока. Температура, расстояние между электродами, объём раствора и площадь погружения образцов поддерживались постоянными для воспроизводимости результатов. Для анализа покрытий применяли сканирующую электронную микроскопию с энергодисперсионным анализом, профилометрию, тест на адгезию методом царапания (ISO 20502), а также потенциодинамические поляризационные измерения в модельных средах (PBS и SBF).

Качество сцепления покрытия с титаном напрямую зависит от предварительной обработки. Механическая шлифовка в сочетании с последующим мягким химическим травлением увеличивает площадь контакта и обеспечивает надёжную механическую фиксацию полимерного слоя. По данным скретч-тестирования, оптимальные образцы выдерживают критическую нагрузку 5–8 Н (Lc1), что является удовлетворительным показателем и сопоставимо с лучшими результатами для электроосаждённых биополимеров, описанными в литературе. Характер разрушения: при умеренных нагрузках возникают трещины внутри самого покрытия (когезионный отказ), при высоких — слой отслаивается от металла (адгезионный отказ).

Катодное электроосаждение хитозана из подкисленных растворов основано на локальном повышении pH вблизи поверхности катода из-за восстановления воды. Это

вызывает депротонирование аминогрупп хитозана, и полимер выпадает в осадок в виде гидрогеля. На итоговое качество покрытия влияют три основных фактора:

1. Концентрация хитозана. При содержании менее 0,5% формируются разрозненные островковые структуры. При концентрации выше 2% раствор становится чрезмерно вязким, что ухудшает перенос вещества и приводит к неоднородности слоя. Оптимальный интервал — 1,0–1,5% при pH 4,0–4,5.

2. Напряжение. В диапазоне 4–6 В образуется сплошное покрытие толщиной от 2 до 15 мкм. Повышение напряжения свыше 7 В вызывает интенсивное выделение водорода, что ведёт к появлению пор, микропузырьковых дефектов и ухудшению адгезии.

3. Время осаждения. Наиболее равномерный слой достигается за 5–10 минут. Дальнейшее увеличение времени наращивает толщину, но при высыхании повышается опасность растрескивания покрытия.

В ходе работы успешно реализованы хитозановые покрытия на титановых подложках медицинского назначения методом электроосаждения. Полученные слои демонстрируют удовлетворительную адгезию (5–8 Н), контролируемую толщину и морфологию. Метод позволяет формировать покрытия в щадящих водных условиях и может быть рекомендован для дальнейшего применения в области медицинского имплантологии.

Список использованной литературы

1. Makurat-Kasprolewicz B., Ossowska A. Electrophoretically deposited titanium and its alloys in biomedical engineering: Recent progress and remaining challenges // *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. — 2024. — Vol. 112, no. 1. — Art. e35342. — DOI 10.1002/jbm.b.35342.

2. Maerten C., Jerry L., Schaaf P., Boulmedais F. Review of Electrochemically Triggered Macromolecular Film Buildup Processes and Their Biomedical Applications // *ACS Applied Materials & Interfaces*. — 2017. — Vol. 9, no. 33. — P. 28117–28138. — DOI 10.1021/acsami.7b06319.

© Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С., 2026

УДК 669.156.9

ФОРМИРОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ХИТОЗАНОВЫХ СЛОЁВ НА ИМПЛАНТАТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КАТОДНОГО ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С.

Уфимский университет науки и технологии, Уфа, Россия

Две главные причины осложнений при использовании титановых имплантатов — это инфекции с образованием бактериальных биоплёнок (в которых микробы становятся устойчивы к антибиотикам и иммунитету) и недостаточная остеоинтеграция. Идеальное покрытие должно быть биологически селективным: подавлять бактерии, но не вредить костным клеткам. Хитозан благодаря своим поликатионным свойствам обладает умеренным антибактериальным эффектом и хорошо подходит для этой задачи.

Электроосаждение хитозана на титан — перспективный метод создания биоактивных покрытий. Однако ключевую роль играет состав электролита (тип кислоты, концентрация хитозана) и режимы осаждения (напряжение, время). Неправильный подбор даёт прерывистые, растрескавшиеся или плохо прилипающие плёнки. В работе проведён систематический скрининг четырёх органических кислот (уксусной, муравьиной, пропионовой и молочной) при концентрациях хитозана 0,5; 1,0 и 1,5% и напряжении 2,5–7 В. Цель — определить оптимальный состав и режимы для получения сплошных воспроизводимых покрытий.

Готовили растворы хитозана (0,5; 1,0 и 1,5%) в 1% растворах уксусной, муравьиной, пропионовой и молочной кислот. Для каждого раствора измеряли кинематическую вязкость капиллярным вискозиметром. Электроосаждение проводили в двухэлектродной ячейке с титановым катодом (образцы диаметром 2,2 см) и анодами из меди, серебра или платины при постоянном напряжении (2,5–8 В). Время осаждения варьировали от нескольких 1–30 минут в зависимости от скорости формирования слоя. Для ряда образцов проводили предварительное травление титана в смеси $\text{HF}:\text{HNO}_3$ (1:1) для улучшения адгезии. Для оценки покрытий использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) с энергодисперсионной спектроскопией (ЭДС), профилометрию, scratch-тестирование (ISO 20502) и потенциодинамические поляризационные испытания в моделируемой физиологической среде (PBS, SBF).

Измерения показали, что вязкость хитозановых растворов определяется как концентрацией полимера, так и типом кислоты. Для всех кислот наблюдается закономерный рост кинематической вязкости с увеличением концентрации хитозана: от 11–15 $\text{мм}^2/\text{с}$ при 0,5% до 50–70 $\text{мм}^2/\text{с}$ при 1,5%. Наиболее низкую вязкость при всех концентрациях обеспечивает молочная кислота (5,4–69 $\text{мм}^2/\text{с}$), тогда как уксусная и муравьиная кислоты дают более вязкие растворы (14–71 и 14–57 $\text{мм}^2/\text{с}$ соответственно). Пропионовая кислота занимает промежуточное положение (12–25 $\text{мм}^2/\text{с}$). Низкая вязкость молочной кислоты является технологическим преимуществом, поскольку облегчает массоперенос и снижает риск неоднородности осадка.

Не все кислоты одинаково пригодны. Пропионовая кислота во всех концентрациях и режимах даёт неудовлетворительные покрытия: неравномерные, с островковой структурой и низкой адгезией из-за слабой диссоциации кислоты.

Уксусная, муравьиная и молочная кислоты показали лучшие результаты. Для уксусной кислоты наилучшие сплошные плёнки с минимальной шероховатостью (R_a 0,47–0,54 мкм) получены при 1,5% хитозана и напряжении 4–4,5 В. Для муравьиной кислоты при 1,5% хитозана и 4 В покрытия формируются, но имеют повышенную шероховатость (R_a ~3,0 мкм). Для молочной кислоты оптимальный режим — 1,5% хитозана, 4 В: при комнатной температуре R_a = 1,67 мкм, а после нагрева раствора R_a снижается до 0,46 мкм, что сопоставимо с лучшими образцами на уксусной кислоте.

Для каждого состава есть порог: при слишком низком напряжении покрытие не формируется, при слишком высоком — дефекты из-за газовыделения (водорода). Для 1,5% хитозана в уксусной кислоте оптимальный диапазон 4–4,5 В: при 3 В покрытие несплошное, при ≥ 5 В — газовыделение и рост шероховатости. Для молочной кислоты оптимум — 4 В при коротком времени (1–2 мин). Предварительное травление титана улучшает адгезию и равномерность для всех кислот.

Скрининг позволил научно обосновать выбор электролита. Оптимальный состав: 1,5% хитозана в 1% растворе уксусной кислоты, режим осаждения — напряжение 4 В, предварительное травление титана. Данный электролит обеспечивает сплошные равномерные покрытия с шероховатостью 0,5–0,6 мкм. Молочная кислота при нагреве раствора также даёт высокие результаты (R_a 0,46 мкм). Пропионовая кислота признана непригодной.

Список использованной литературы

1. León M., Alvarez D., Valarezo A. et al. Electrodeposition of Chitosan on Ti-6Al-4V Surfaces: A Study of Process Parameters // *Materials Research*. — 2022. — Vol. 25. — Art. e20210552. — DOI 10.1590/1980-5373-MR-2021-0552.
2. Flesińska J., Szklarska M., Matuła I. et al. Electrophoretic Deposition of Chitosan Coatings on the Porous Titanium Substrate // *Journal of Functional Biomaterials*. — 2024. — Vol. 15, no. 7. — Art. 190. — DOI 10.3390/jfb15070190.

© Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С., 2026

СИНТЕЗ СШИТЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ARM FIRST НА ОСНОВЕ ОЛИГОМЕРОВ ПОЛИАЛКИЛМЕТАКРИЛАТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ НЕФТИ

Шанвар С., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Россия, Нижний Новгород

Сбор нефти с поверхности воды — это комплекс первоочередных мер, направленных на ликвидацию последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Попадая в водоемы, нефть образует тонкую пленку (радужную или темную), которая блокирует поступление кислорода и губительна для планктона, рыб и птиц. Основная задача сборки — оперативно локализовать пятно с помощью боновых заграждений и механически удалить нефть с поверхности с помощью специальных устройств (скиммеров) или сорбентов, предотвращая ее дальнейшее распространение и разрушение экосистемы.

Синтез сорбентов осуществляется постполимеризационной модификацией полиалкилметакрилатов фракции (C₁₀-C₁₄), полученных методом Reversible Addition Fragmentation Chain Transfer с участием 2-пропил-2-цианодитиобензоата (рисунок 1).

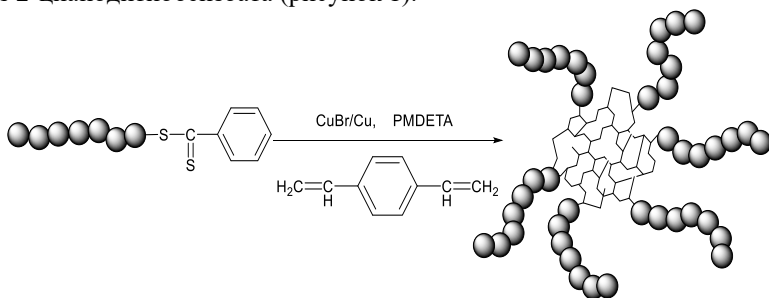


Рис. 1. Синтез сшитых полимеров методом *arm first*

Полученные сшитые полимеры, содержащие во внешней сфере полиалкилметакрилаты, проанализированы на содержание золь и гель фракций, а также степень набухания в различных растворителях (CH₂Cl₂, ДМФА, нефть). Выявлено, что в отличие от сшитых полимеров на основе полистирола синтезированные полимеры обладают хорошей сорбционной способностью нефти со степенью набухания до 1500%. Сшитые полимеры исследовались в качестве сорбентов нефти с поверхности воды при массовом соотношении нефть : полимер = 1:0.2. Установлено, что сшитые полимеры с полиалкилметакрилатными группами эффективно удаляют нефть за 5 часов.

© Шанвар С., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф., 2026

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ ПРОИЗВОДНЫХ ИНДОЛ-3-ИЛ
УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ В АКТИВНЫЙ ЦЕНТР ФАКТОРА
СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ XIIa ЧЕЛОВЕКА

Максимов Л.С., Хайруллина В.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа

Фактор свертывания крови XIIa (FXIIa) является ключевым инициатором внутреннего (контактного) пути коагуляции и перспективной мишенью для разработки безопасных антикоагулянтов нового поколения. В отличие от традиционных препаратов, ингибирование FXIIa теоретически позволяет подавлять патологический тромбоз без нарушения физиологического гемостаза, что снижает риск кровотечений.

Целью исследования была оценка ингибиторного потенциала серии производных индол-3-илуксусной кислоты (PirIndas1–5) в отношении активного центра фактора XIIa человека (Код PDB: 6b77) методами компьютерного моделирования.

Все пять исследованных производных индол-3-ил уксусной кислоты (PirIndas1–5) продемонстрировали умеренную аффиность к активному центру 6b77: Диапазон энергий связывания: $-7,6 \dots -8,6$ ккал/моль; Расчетные значения K_i : 0,49–2,67 мкМ; Лиганд-эффективность (LE): 0,23–0,25. Стабилизация лигандов в активном центре обеспечивается комбинацией: водородных связей (с остатками GLY219, CYS220, TYR99); гидрофобных взаимодействий (π - σ , алкильные, π -алкильные); π - π -стекинга с участием ключевых остатков (CYS191:GLN192, TRP215:GLY216); дополнительных контактов с каталитическими остатками (HIS57, ASP60A, CYS42, CYS58).

Наименьшую энергию связывания показало соединение PirIndas3 ($E_{bind} = -8,6$ ккал/моль, $K_i = 0,49$ мкМ), что выделяет его как лид-кандидат серии.

Производные индолуксусной кислоты серии PirIndas проявляют потенциал как ингибиторы фактора XIIa. Полученные данные *in silico* обосновывают целесообразность дальнейших экспериментальных исследований (*in vitro* / *in vivo*) для оценки селективности и антикоагулянтной активности данных соединений в рамках разработки мультитаргетных антикоагулянтов.

ОЦЕНКА ИНГИБИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ
ИНДОЛ-3-ИЛ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ В ОТНОШЕНИИ ФАКТОРА
СВЁРТЫВАНИЯ КРОВИ ХА

Максимов Л.С., Хайруллина В.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа

Фактор Ха (тромбокиназа) — ключевой фермент каскада коагуляции, катализирующий превращение протромбина в тромбин. Селективная блокада фактора Ха является перспективной стратегией для профилактики и лечения тромботических состояний. Цель данной работы — *in silico* оценка аффинности пяти синтезированных производных индол-3-ил уксусной кислоты (обозначены PirIndas1–5) к активному центру фактора Ха человека (структура PDB: 1xka).

Молекулярным докингом выполнен с использованием программы AutoDock Vina. Размер бокса моделирования — 22 Å, положение соответствует каталитической триаде протеазы. Для анализа лиганд-белковых взаимодействий применён пакет Discovery Studio Visualizer.

Все исследуемые соединения соответствуют «правилу пяти» Липински и обладают благоприятными показателями гидрофобности (cLogP 3,19–4,41) и растворимости (cLogS от –5,78 до –7,40).

По данным докинга, энергии связывания с фактором Ха составили от –9,2 ккал/моль до –10,1 ккал/моль. Наименьшее значение константы ингибирования (0,05 мкМ) зафиксировано для PirIndas3, что свидетельствует о его наиболее высоком сродстве к активному центру 1xka.

Анализ стабилизирующих факторов показал, что комплексы лигандов с фактором Ха формируются за счёт: водородных связей с остатками Gly193, Gly216, Ser195, Ser214, Phe41, His57, Tyr99; гидрофобных взаимодействий (π -алкильные контакты с His57, Cys220, Trp215, Tyr99, Phe174; алкильные взаимодействия с Trp215); дополнительных связей через карбонильные группы и остатки Cys191–Gln192. Все соединения располагаются внутри активного центра, перекрывая доступ к каталитической триаде, что подтверждается визуализацией в PyMOL.

УДК 541:64

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАТИОНОВ СЕРЕБРА В РАСТВОРАХ И ПЛЕНКАХ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ПОЛИ-N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНА И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

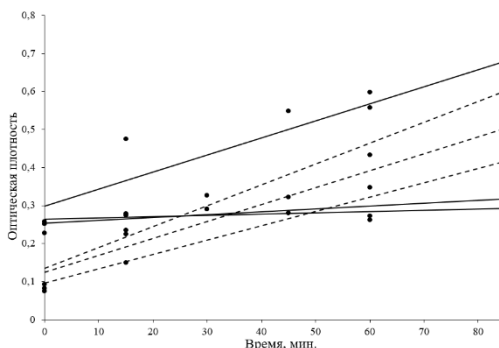
Базунова М.В., Мустафина С.А.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа

Одним из важных свойств поли-N-винилпирролидона (ПВП) является его способность к защите от УФ-излучения и к комплексообразованию, что делает его перспективным компонентом современных ранозащитных покрытий на основе биосовместимых природных и синтетических полимеров [1]. Целью данной работы является изучение и сравнение процессов закономерностей восстановления катионов серебра в растворах и пленках на основе ПВП и поливинилового спирта (ПВС) при их экспонировании под УФ-излучением.

Установлено, что, во-первых, при повышении содержания ПВП скорость восстановления катионов серебра снижается как в растворах, так и в пленках, а во-вторых, скорость накопления серебра вследствие фотохимического восстановления в растворах, содержащих ПВП, намного выше, чем в пленках того же состава (рисунок 1).

Рис. 1. Зависимость накопления серебра от времени в растворах ПВС:ПВП 80:20 (1), 100:0 (2), 60:40 (3) и в пленках ПВС:ПВП 100:0 (4), 60:40 (5), 80:20 (6).



Это может быть связано с тем, что концентрация ПВП в пленках в результате испарения растворителя при высушивании намного выше, чем в растворах, что доказывает наличие у ПВП свойств УФ-фильтра, замедляющего фотохимическое восстановление катионов серебра. В то же время видимых отличий в скорости накопления серебра в растворе и в пленке, содержащих 100% ПВС, не наблюдалось.

Список использованных источников

1. Базунова М.В., Чернова В.В., Кулиш Е.И. // Химическая физика. 2024. Т. 43. № 9.

© Базунова М.В., Мустафина С.А., 2026

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕР-КОЛЛОИДНЫХ ДИСПЕРСИЙ НА ОСНОВЕ НАНОЧАТИЦ ЙОДИДА СЕРЕБРА И ПРОИЗВОДНЫХ ХИТОЗАНА

Базунова М.В., Табишева Э.И.

Уфимский университет науки и технологий, Россия, г. Уфа

Агрегативная и седиментационная устойчивость полимерколлоидных дисперсий (ПКД), формируемых на основе лиофобных золей и водорастворимых полимеров, создающих защитные слои на поверхности коллоидных частиц, определяется размером частиц, их распределением по размерам и количеством частиц. В данной работе установлены условия получения ПКД, сохраняющих стабильность в течение 4–5 суток. Такие дисперсии получены на основе положительно и отрицательно заряженных золей иодида серебра (AgI-2 и AgI-1 соответственно) и полисахаридов - сукцинила хитозана (СХТЗ) и ацетата хитозана (АХТЗ). Это позволяет использовать их в качестве исходных систем для создания гибридных материалов медицинского назначения. Прежде [1] было установлено, что золи, образующиеся при смешении исходных растворов KI и AgNO_3 концентрацией 0,01 моль/л в объёмных соотношениях 10:7 или 7:10, характеризуются размерами частиц, которые попадают в интервал истинно-коллоидных систем и обеспечивают максимально возможную площадь межфазной поверхности.

Повышение устойчивости золя AgI-2 в присутствии поликатиона АХТЗ, очевидно, обусловлено адсорбцией одноимённо заряженных макроионов на частицах дисперсной фазы, что сопровождается ростом их заряда и ζ -потенциала. Возможность такого механизма стабилизации подтверждается измерениями электрокинетического потенциала: добавление поликатиона АХТЗ к золю иодида серебра с положительно заряженными частицами закономерно увеличивает значение потенциала коллоидных частиц. Кроме того, АХТЗ способствует гидрофилизации поверхности частиц, что также повышает устойчивость коллоидной системы. Однако гидрофилизация и связанное с ней повышение устойчивости не должны зависеть от знака заряда частиц. Это подтверждают опыты на золе AgI-1 (отрицательно заряженные частицы). При использованных нами концентрациях полимера (0,1% и выше) его добавление в золь приводит к резкому возрастанию стабильности.

Причина повышения агрегативной устойчивости золя иодида серебра - не только гидрофилизация поверхности изначально гидрофобного золя, но и перезарядка коллоидных частиц. Адсорбция макроионов приводит к смене знака заряда частиц с отрицательного на положительный. Аналогичные эффекты характерны и для полианиона СХТЗ. При его использовании

наблюдается перезарядка золя AgI-1 и увеличение электрокинетического потенциала золя AgI-2, что сопровождается ростом агрегативной устойчивости обоих золей.

Смешение отрицательно заряженного золя AgI-1 с раствором полианиона СХТЗ вызывает выпадение осадка из-за сильного электростатического притяжения. В то же время при смешении одноимённо заряженных компонентов (положительный золь AgI-2 и поликатион АХТЗ) осадок не образуется. Такое различие, вероятно, объясняется тем, что макромолекулы СХТЗ несут более высокий суммарный отрицательный заряд благодаря диссоциации групп - COONa, тогда как у ацетата хитозана диссоциация ионогенных групп выражена слабее. Чтобы снизить заряд цепей СХТЗ, в их водные растворы (исходный pH 7.1-7.2) добавляли 0,01 М HCl до pH 6.5. После подкисления смешение таких растворов с золем AgI-1, как и в случае с АХТЗ, приводило к образованию устойчивых полимер-коллоидных дисперсий.

Факт адсорбции полимеров на поверхности частиц подтверждён потенциометрическим методом, широко применяемым для изучения равновесий в растворах. Кроме того, образование ПКД с взаимодействующими компонентами, а не просто механической смеси, доказано данными оптической спектроскопии и вискозиметрии.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют об образовании полимер-коллоидных дисперсий, обусловленной специфической адсорбцией многовалентного иона (полимера) на поверхности частиц золя.

Список использованных источников:

1. Бабунова М.В., Чернова В.В., Кулиш Е.И. Стабилизация частиц золей йодида серебра ацетатом и N-сукцинилом хитозана // Химическая физика. 2024. Т. 43. № 9.

© Бабунова М.В., Табишева Э.И., 2026

УДК 678.073

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА.

Черепанова В.А., Широкова Е.С., Пантелеева Д.А., Семиколенных В.С.
Вятский государственный университет, Россия, город Киров.

Традиционные маслобензостойкие резины на основе бутадиен-нитрильных каучуков или фторкаучуков требуют длительной вулканизации и не подлежат повторной переработке. Актуальным остается вопрос о создании материалов, сочетающих перерабатываемость термопластов со стойкостью к топливам, маслам и бензину, сопоставимой с резинами на основе указанных каучуков. Ранее авторами была предложена термопластичная эластомерная композиция, предназначенная для производства изделий, работающих с агрессивными средами [1].

Целью данной работы являлось сравнение свойств разработанного материала с традиционно применяемыми резинами.

Объектами исследования в данной работе являлись термопластичный вулканизат (ТПВ) на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40 АМН (производства ПАО «СИБУР Холдинг») и поливинилиденфторида (ПВДФ) (производства АО «ГалоПолимер»), содержащий в качестве вулканизирующего агента серу и сульфенамид Ц в количестве 0,75 и 0,375 м.ч. соответственно. Приготовление ТПВ осуществлялось согласно процедурам, описанным ранее в [2]. В качестве образца сравнения была выбрана резина 7-400Ф-4М по ГОСТ8752-79 на основе бутадиен-нитрильного каучука, используемая для производства манжет армированных. Приготовление резиновой смеси осуществлялось на вальцах лабораторных ЛБ 320 160/160 при температуре 50-60 °С. Вулканизация образцов резин для последующих испытаний проводилась при температуре 170 °С в гидравлическом прессе в оптимуме вулканизации, определенном на реометре Rheo-Line MDR ф. Prescott Instruments по ГОСТ 12535-84. Условная прочность при растяжении, f_z , напряжение при 100% удлинении, f_{100} , удлинение при разрыве, ϵ , твердость по Шору А, H , изменение массы образцов при нахождении в различных средах в течении 7 суток, Δm , оценивались в соответствии со стандартами, указанными в таблице 1. Старение образцов проводилось при температуре 100 °С в течение 72 часов.

Результаты проведенных испытаний систематизированы в таблице 1.

Как можно видеть из представленной таблицы, разработанный материал сопоставим со стандартным по величине прочности при разрыве, напряжении при 100% удлинении, стойкости к воздействию воды, нефти и бензина. При этом разработанный ТПВ имеет большее удлинение при разрыве и твердость

по Шору А. Для разработанного материала отмечено меньшее изменение физико-механических показателей после теплового старения, что позволяет говорить о его большей теплостойкости.

Таблица 1. Показатели свойств исследуемых материалов

Показатель	Стандарт	ТПВ	Резина 7- 400Ф-4М
f_z , МПа	ASTM D638	11,5	11,8
f_{100} , МПа		8,4	8,7
ε , %		327	194
H , усл. ед.	ASTM D2240	94	86
f_z после старения, МПа	ASTM D638	11,6	14,4
f_{100} после старения, МПа		8,1	11,3
ε после старения, %		324	160
Коэффициент старения по f_z , %	ГОСТ ISO 188-2013	0,9	22,0
Коэффициент старения ε , %		-0,9	-17,5
Δm в воде дистиллированной, %	ГОСТ 9.030-74	менее 1	1,0
Δm в нефти ПАО «Транснефть», %		менее 1	1,3
Δm в бензине автомобильном марки АИ-92-К5, %		12,8	14,0

Полученные результаты в совокупности с подтвержденной ранее [2] возможностью повторной переработки рассматриваемого ТПВ делают этот материал перспективным для замены традиционных резин в автомобилестроении и нефтегазовом секторе для производства маслостойких изделий.

Список использованных источников

1. Патент № 2849817 С1 Российская Федерация, МПК C08L 27/16, C08L 9/02, C08K 3/06. Термопластичная эластомерная композиция, предназначенная для производства изделий, работающих с агрессивными средами : заявл. 16.08.2024 : опубл. 30.10.2025 / А. И. Гринченко, Е. С. Широкова, З. А. Морозова, В. А. Черепанова ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».

2. Shirokova, E. S., Cherepanova, V. A., & Fomin, S. V. (2026). Термопластичные вулканизаты на основе бутадиен-нитрильного каучука и поливинилиденфторида. Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология», 69(3), 64-74. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20266903.6692>.

© Черепанова В.А., Широкова Е.С., Пантелеева Д.А.,

Семиколенных В.С., 2026

УДК 541.49:547.587.11:547.854.4

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ С ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Латыпова А.Р.

Уфимский университет науки и технологий, Республика Башкортостан,
Уфа, Россия

Удобным и сравнительно простым способом модификации лекарственных веществ, позволяющим изменять их фармакологические свойства, является комплексообразование. При этом в качестве комплексообразующего агента выгодно использовать циклодекстрины. Эти природные олигосахариды образуют гидрофобные полости, способные заключать лекарственные (в том числе, плохо растворимые) соединения, тем самым улучшая их физико-химические и фармакокинетические свойства [1-3].

В настоящей работе в качестве лекарственных веществ использовали 5-аминосалициловую кислоту (5-АСК) и 5-гидрокси-6-метилурацил (5-ГМУ), а в качестве циклодекстринов – α -, β - и γ -циклодекстрины (α -, β - и γ -ЦД).

Комплексообразование изучали методами УФ-, ИК-спектроскопии и масс-спектрометрии. Установлено, что в разбавленных водных растворах исследуемые вещества (5-АСК, 5-ГМУ) и α -, β -, γ -ЦД образуют сравнительно стабильные (с константами устойчивости $K \sim 10^3$ - 10^4 л/моль) комплексы включения в стехиометрическом соотношении 1 : 1. Обнаружено, что в интервале 296-321 К состав комплексов остается неизменным (1 : 1), а их устойчивость с ростом температуры падает.

На основе полученных результатов предложены методики синтеза комплексов включения и изучена их противовоспалительная активность (на примере комплексов с β -ЦД). Установлено, что комплексы 5-АСК... β -ЦД и 5-ГМУ... β -ЦД в дозе 50 мг/кг проявили выраженную противовоспалительную активность, сравнимую с референтным препаратом (карбеноксолон) в дозе 100 мг/кг. При этом количества 5-АСК и 5-ГМУ в комплексах составили лишь 11-12% масс., остальные 88-89% масс. пришлось на нетоксичный β -ЦД. Таким образом, комплексообразование с ЦД можно рассматривать как весьма перспективный способ повышения биологической активности лекарственных веществ.

Список использованных источников

1. Борисова Н.С., Зимин Ю.С., Гимадиева А.Р., Мурзакова Л.И. // Макрогетероциклы. 2024. Т. 17, № 4. С. 333-340.
2. Зимин Ю.С., Борисова Н.С., Мурзакова Л.И., Гимадиева А.Р. // Химико-фармацевтический журнал. 2025. Т. 59, № 2. С. 3-9.
3. Борисова Н.С., Зимин Ю.С., Латыпова А.Р., Гимадиева А.Р., Мустафин А.Г. // Химико-фармацевтический журнал. 2025. Т. 59, № 7. С. 15-20.

© Латыпова А.Р., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1. СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. Синтез сополимеров на основе пиррола и производных анилина.....	4
Ашихмина Ю.А., Кальтенберг Н.А. Контролируемая сополимеризация метакриловых мономеров под действием УФ- излучения в присутствии 10-нафтилфенотиазина.....	5
Борисова Д.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б. Фотополимеризация метакриловых эфиров в присутствии системы йодистый цианизопропил / тетра-н-бутиламмоний йодид.....	6
Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. Синтез сополимеров на основе полианилина и анилина, содержащих галогензамещенные группы.....	7
Жакина А.Х., Арнт О.В., Василец Е.П., Жакин А.М.. Композитный материал, модифицированный углеродным наполнителем.....	8
Киселева А.П., Кузнецова Ю.А., Гришин И.Д. Контролируемая радикальная сополимеризация акрилонитрила с диметилитаконатом и метилакрилатом в условиях ARGET ATRP.....	9
Кузнецова Ю.А., Киселева А.П., Гришин И.Д. Комплексы меди с бис[2-хинолилметил]-2-пиридилметиламином в контролируемой радикальной полимеризации метакриловых мономеров	11
Ласкова Е.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф. Синтез высокомолекулярных алкоксиаминов методами контролируемой радикальной полимеризации и исследование их стабильности под действием различных факторов	13
Лимонова Н.А., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б. Термическая полимеризация стирола с участием 3,6-ди-трет-бутил-о-бензохинона и ацетилацетонатов металлов VIII группы.....	14
Масагутова Э.А., Псянчин А.А., Нафикова Р.Ф., Мазина Л.А., Ахметханов Р.М. Термическая деструкция поливинилхлорида при сочетании с фениликозан-1,3-дионом.....	15
Рыхлова А.С., Лизякина О.С., Ваганова Л.Б. Полимеризация стирола с участием нейтральной формы нильского синего.....	178
Солдубаев Г.А., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф. Влияние воды на процессы радикального сочетания полимеров винилового ряда с участием каталитической системы на основе меди.....	18

Базунова М.В., Табишева Э.И. О стабилизации коллоидных частиц гидроксида магния поли-N-винилпирролидоном.....	19
Тихомирова В.А., Николаева О.И. Влияние структуры поливинилового спирта на свойства полиметилметакрилата.....	21
Фролов К.Д., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф. Роль органических деоксигенаторов в полимеризации метилметакрилата с участием каталитических систем на основе меди в присутствии воздуха	23
Шадрина М.К., Кальтенберг Н.А. Сополимеризация акрилонитрила в присутствии 10-фенилфенотиазина в условиях MF ATRP.....	24
Щинов В.К., Нафикова Р.Ф., Ахметханов Р.М. Влияние некоторых пеногасителей на термическую устойчивость поливинилхлорида.....	25
Морозов М.Ю., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф. Модификация сополимеров бензилметакрилата с малеиновым ангидридом спиртами и аминами и исследование их влияния на низкотемпературные характеристики дизельного топлива.....	27
Долганов Е.Д., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф. Синтез и влияние самоорганизации сополимеров высших алкилметакрилатов на низкотемпературные характеристики дизельного топлива.....	28

СЕКЦИЯ №2. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Николайчук А.А., Кулиш Е.И. О возможности использования смесей полимеров для получения новых материалов	30
Салеева Е.А., Шуршина А.С., Кулиш Е.И. О возможности получения пленочных материалов с регулируемыми свойствами на основе смесей натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и альгината натрия	31
Стяжкин Д.В. Влияние остаточной воды в кристаллогидрате $GdCl_3 \cdot xH_2O$ на активность гадолиниевого катализатора в полимеризации изопрена.....	32
Усманова Г.С., Азнабаева М.Р., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. Регенерация адсорбентов на основе производных поли[2-метил-1Н-индола]	33
Еникеева Р.Р., Шуршина А.С. Вязкоупругие свойства растворов альгината натрия	34
Старшов Б.О., Васильева С.Ю., Насакин О.Е. Исследование реакции эпексидирования растительного масла	35
Вдовина О.Ю., Захарова Е.М., Галимуллин Р.Р., Колесов С.В. Термостойкость виниловых сополимеров, полученных в присутствии ряда комплексов железа.....	37

Нурвалиева К.Р., Хасанова А.И. Применение геллановой камеди в медицине и фармацевтике.....	38
Улитин Н.В., Терещенко К.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А., Стоянов О.В. Количественная оценка прочности адгезионного взаимодействия полимеров с поверхностью γ -Al ₂ O ₃ с использованием потенциала Морзе.....	39
Улитин Н.В., Балдинов А.А., Родионов И.С., Анисимова В.И., Терещенко К.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А., Стоянов О.В. Построение методами молекулярной динамики моделей полимеров, содержащих типичные для полимерных лигандов — фиксаторов каталитически активных металлов на поверхностях носителей — функциональные группы	40
Терещенко К.А., Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В., Родионов И.С., Новичкова А.А., Кирдин И.Д., Старостина И.А., Определение работы адгезии полимеров к поверхности γ -Al ₂ O ₃ методами молекулярной динамики.....	41
Балдинов А.А., Анисимова В.И., Улитин Н.В., Родионов И.С., Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В. Зависимость прочности адгезионного взаимодействия полимеров от функциональных групп и кислотно-основных свойств поверхности γ -Al ₂ O ₃	42
Соснина Д.А., Базунова М.В. Материалы на основе полимер-коллоидных дисперсий гидрохлорида хитозана и коллоидных частиц йодида серебра.....	43
Анисимова В.И., Балдинов А.А., Улитин Н.В., Родионов И.С., Терещенко К.А., Новичкова А.А., Старостина И.А., Стоянов О.В. Анализ энергетических вкладов в адгезионное взаимодействие полимеров с поверхностью γ -Al ₂ O ₃ методом PIEDA.....	45
Сафина П.И., Шуршина А.С. Влияние низкомолекулярных солей на транспортные свойства жидких лекарственных форм на основе пектина.....	46
Хасанова А.И., Нурвалиева К.Р., Шуршина А.С. Реологические свойства растворов ксантановой камеди.....	47
Шихмуратова Р.Р., Шуршина А.С. Сорбционные свойства пленок на основе смеси полимеров пектин — натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы	48
Шуршина А.С., Кулиш Е.И. Мягкие лекарственные формы на основе пектина.....	49
Кулиш Е.И., Лаздин Р.Ю., Чжанд Синьхуа, Хэ Чуньлэй Факторы, влияющие на адгезию между полимером и металлом.....	50

Хлескин В.С., Кулиш Е.И. Требования к полимерам, используемым в качестве биочернил при 3D-биопринтинге.....	51
Криуличев И.П., Павловская М.В., Замышляева О.Г., Гришин Д.Ф. Синтез сополимеров стеарилметакрилата с глицидилметакрилатом различного строения методом контролируемой радикальной полимеризации и исследование влияния их на депрессорные свойства гидроочищенного дизельного топлива	52

СЕКЦИЯ №3. ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Азнабаева М.Р., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. Изучение морфологии композитов на основе полипиррола и ленточных углеродных нанотрубок.....	54
Артёмов А.В. ЕSP-анализ монолигнола Н-типа для получения лигноцеллюлозных пластиков без внешних связующих.....	55
Гараев Н.И., Хакимуллин Ю.Н., Галимзянова Р.Ю. Влияние асфальтено-смолистых веществ на свойства неотверждаемых герметиков на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС-40АМН...	56
Гордеев Д.Н., Усманова Г.С., Латыпова Л.Р., Мустафин А.Г. Исследование морфологии композитов на основе полианилина и ленточных углеродных нанотрубок	60
Гулиева Т.М., Курбанова Н.И. Механические свойства и противогрибковая активность нанокompозитов, содержащих наночастицы ZnO.....	61
Дуньямалиева А.И., Курбанова Н.И. Влияние металлсодержащих наночастиц на механические свойства композитов на основе изотактического полипропилена, содержащего углеродные нанотрубки.....	63
Ефремова С.И., Капитонова М.А., Кольцов Н.И. Исследование влияния полианионной целлюлозы на физико-механические свойства резины на основе каучуков общего и специального назначения.....	65
Заикин А.Е., Тумандеев И.Н. Компатибилизация смеси полиэтилена с полиамидом наночастицами оксида кремния и технического углерода	67
Ильина Ю.А., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Влияние наполнителей на свойства резины на основе этиленпропилендиенового и бутадиен-нитрильного каучуков.....	79

Кулыгин А.В., Вернигоров К.Б., Машуков В.И., Русанова С.Н., Ефремов С.А., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. Оценка влияния различных углеродсодержащих наполнителей, полученных из техногенных и растительных отходов, на адгезию полиэтилена к стали.....	71
Матюхин М.Р., Егоров Е.Н., Смирнов А.В., Терентьев А.А., Кольцов Н.И. Исследование влияния диоксида титана, титаната бария и графена на реометрические свойства резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука.....	73
Мирзоева Н.А., Курбанова Н.И. Получение и термический анализ металл-углеродных композиций на основе полиэтилена высокого давления	75
Базунова М.В., Набутова К.В., Табишева Э.И. Влияние УФ-излучения на физико-механические свойства композитов на основе сополимера пропилена с этиленом марки Бален 01130, наполненных стекловолокном и алюмосиликатными микросферами...	77
Паршина А.С. Изучение возможности получения композитов на основе полиэтилена и плавов полиэтилентерефталата.....	79
Потапов О.А., Вернигоров К.Б., Машуков В.И., Русанова С.Н., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. Влияние продуктов пиролиза растительных отходов на адгезионные свойства эластомеров	80
Раслан А., Просочкина Т.Р., Атнабаева Э.Р. Влияние добавок на свойства термопластичных вулканизатов на основе СКЭПТ и полипропилена	82
Соколов О.Г., Вольфсон С.И. Новая технология изготовления шипованных шин, обеспечивающая эффективную работоспособность ошиповки в пределах эксплуатационного срока службы шины.....	84
Шайдиянов А.И., Получение композиций на основе полипропилена и плавов полиэтилентерефталата.....	85
Яхина Г.С., Базунова М.В. Изучение влияния степени наполнения полипропилена на атмосферостойкость	86
Хабидуллин И.И., Асадуллин А.А., Псянчин А.А. Исследование физико-механических свойств композитов на основе фотополимерной смолы и гидроксида алюминия.....	88

СЕКЦИЯ №4. ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р. Молекулярно-динамическая оценка энергетической стабильности физической сетки узлов в растворах поливинилового спирта.....	90
--	----

Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р. Исследование влияния плотности сетки зацеплений на топологию транспортных каналов в формовочных растворах поливинилового спирта методом молекулярной динамики.....	91
Сунаргулов А.Б., Бакирова Э.Р. Методические аспекты атомистического дизайна и оптимизации аморфных ячеек для прогнозирования свойств систем поливинилового спирта.....	92
Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С. Хитозановые покрытия, полученные методом электроосаждения, для имплантов....	93
Дилбандян Р.В., Кулиш Е.И., Квятковская А.С. Формирование биоактивных хитозановых слоёв на имплантатах с использованием метода катодного электроосаждения.....	95
Шанвар С., Колякина Е.В., Гришин Д.Ф. Синтез сшитых полимеров методом ARM FIRST на основе олигомеров полиалкилметакрилатов и их применение в качестве сорбентов нефти	97
Максимов Л.С., Хайруллина В.Р. Молекулярный докинг производных индол-3-ил уксусной кислоты в активный центр фактора свертывания крови ХПА человека	98
Максимов Л.С., Хайруллина В.Р. Оценка ингибирующей активности производных индол-3-ил уксусной кислоты в отношении фактора свёртывания крови ХА	99
Базунова М.В., Мустафина С.А. Закономерности фотохимического восстановления катионов серебра в растворах и пленках на основе смесей поли-N-винилпирролидона и поливинилового спирта.....	100
Базунова М.В., Табишева Э.И. Изучение условий стабилизации полимер-коллоидных дисперсий на основе наночастиц йодида серебра и производных хитозана.....	101
Черепанова В.А., Широкова Е.С., Пантелеева Д.А., Семиколенных В.С. Сравнительная оценка свойств термопластичного вулканизата на основе бутадиен-нитрильного каучука и поливинилиденфторида...	103
Латыпова А.Р. Комплексообразование с циклодекстринами как способ повышения биологической активности лекарственных веществ.....	105

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА, МОДИФИКАЦИИ
И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ**

***Тезисы докладов
X Всероссийской (заочной) научной конференции
(г. Уфа, 2 июня 2026 г.)***

Научное электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции*

Подписано к использованию 16.07.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 2,10 Мб.
Заказ 180.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: red@uust.ru