

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

НАНОСТРУКТУРНЫЕ, ВОЛОКНИСТЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы XVI всероссийской научной и студенческой
конференции с международным участием
«Наноструктурные, волокнистые и композиционные
материалы» имени профессора А.А. Лысенко

Санкт-Петербург, 12–13 мая 2026 года

Санкт-Петербург

2026

УДК 677.4:539.4:677.017:678(063)

ББК 35.71:35.73я43

Н25 Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы: материалы XVI всероссийской научной и студенческой конференции с международным участием и конкурса студенческих докладов имени профессора А. А. Лысенко / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026. – 159 с.
ISBN 978-5-7937-2977-2

Всероссийская научная и студенческая конференция с международным участием и конкурс студенческих докладов с 12.05.2026 г. по 13.05.2026 г.

Оргкомитет:

Демидов А. В. – д-р техн. наук, профессор, председатель

Макаров А. Г. – д-р техн. наук, профессор, сопредседатель

Новоселов Н. П. – д-р техн. наук, профессор, сопредседатель

Асташкина О. В. – канд. техн. наук, доцент, зам.председателя

Анисимов А. В. – д-р техн. наук

Виноградова Л. Е. – канд. техн. наук, доцент

Хохлова В. А. – канд. техн. наук, доцент

Свердлова Н. И. – канд. техн. наук, доцент

Петрова Д. А. – канд. техн. наук

Саклакова Е. В. – канд. техн. наук

Кузнецов А. Ю. – канд. техн. наук

Штягина Л. М. – канд. техн. наук

Гладунова О. И.

Лукичева Н. С.

Марценюк В. В.

Дианкина Н. В.

Уварова Н. Ф.

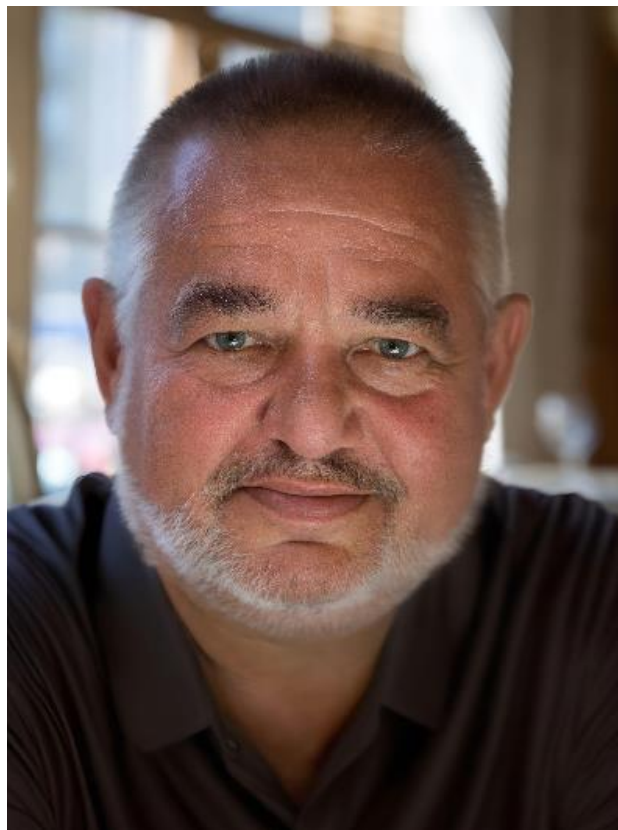
Анущенко Т. Ю.

Ширшова Е. П.

УДК 677.4:539.4:677.017:678(063)

ББК 35.71:35.73я43

© ФГБОУВО СПбГУПТД, 2026



Александр Александрович Лысенко

выдающийся ученый, доктор технических наук, профессор, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заведующий кафедрой Наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса с 1999 по 2024 гг.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абрамова А.Ю., Гирсова М.А., Мякин С.В.</i> Синтез и спектральные свойства композиционных материалов на основе пористых стекол, активированных серебром и самарием.....	13
<i>Алехина Н.А., Дианкина Н.В.</i> Оценка эффективности фильтровальных тканей саржевого и атласного переплетения в процессе нейтрализации пульпы.....	15
<i>Алфёров А.А., Яковлев А.В., Яковлева Е.В., Брудник С.В.</i> Гидротермальный синтез nano структурированных слоистых двойных гидроксидов на основе кобальта алюминия и железа на подложке из никелевой пены.....	16
<i>Анущенко Т.Ю., Хохлова В.А., Литвиченко К.С.</i> Изучение влияния радиационного воздействия на термические свойства шовных материалов из полигликолида.....	17
<i>Асташкевич Е.В., Цена Е.В.</i> Применение специальных добавок для минимизации запотевания полимерных пленок.....	19
<i>Ахметзянова Л.Н., Вилачева Ю.Ю., Гладунова О.И.</i> Теория Максвелла-Гарнетта для оценки радиопрозрачности полимерных композиционных покрытий, содержащих наполнители различной природы.....	20
<i>Ахметзянова Л.Н., Вилачева Ю.Ю., Гладунова О.И.</i> Разработка способа введения трёхкомпонентного функционального наполнителя в эпоксидное связующее.....	22
<i>Бакаева М.А., Сашина Е.С.</i> Получение термохромных пленок и волокон ПАН.....	23
<i>Бакутин Д.С., Силкин Д.С., Ерохина О.А.</i> Исследование процесса создания топливных брикетов из гуза-паи.....	24
<i>Борисов Г.В.</i> Влияние эксплуатационных ограничений на проектирование и ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов для беспилотных авиационных систем массой до 60 кг.....	26

<i>Бужак А.А., Ширшова Е.П., Кузнецов А.Ю.</i> Почвенные субстраты на основе поливинилового спирта.....	28
<i>Быков Ф.А., Кулакова В.А., Владимирцева Е.Л.</i> Применение природных алюмосиликатов и натуральных волокнистых материалов для обесцвечивания растворов прямых красителей.....	29
<i>Ведерников И.С., Кузнецов А.Ю.</i> Исследование поглотительной способности по отношению к нефтепродуктам наполненных композитов на основе поливинилового спирта.....	31
<i>Волкова Е.С., Борисова Н.В., Устинова Т.П.</i> Изучение процесса совмещения полиакрилонитрильного жгутика с капролактамом при получении полимеризационно наполненного полиамида-6.....	32
<i>Воробьев А.П., Кайдалов И.В., Кошелев И.А., Кулакова В.Н., Лебедев К.М., Семисалов Ал.Д., Семисалов Ан.Д., Судницын М.А., Чесноков Н.А.</i> Изучение влияния искусственной почвы на рост и развитие разных видов растений.....	34
<i>Воронина Н.А., Гладунова О.И.</i> Изучение влияния мощности УФ излучения на смачиваемость СВМПЭ волокон с помощью метода «сидячей» капли.....	36
<i>Воронина Н.А., Гладунова О.И.</i> Исследование глубины проникновения УФ излучения в ткани из СВМПЭ волокон методом измерения краевого угла смачивания.....	37
<i>Гавриленко М.А., Усс Е.П.</i> Исследование влияния наноразмерного кремнезема на вязкость эластомерных композиций с комбинациями наполнителей.....	38
<i>Галушка С.С.</i> Применимость индукционного нагрева для карбонизации полимерных композиционных материалов с фталонитрильной матрицей.....	40

<i>Григорьев Р.Р., Ерлыгина М.А., Ившин С.С.</i> Оценка возможности применения механоактивированного стеклопластикового регенерата.....	41
<i>Григорьева П.А., Ширин О.И., Липин В.А.</i> Сравнительная оценка эффективности моно- и мультиферментной обработки в отбелке сульфатной целлюлозы.....	43
<i>Гришина В.Ю., Петрова Л.С., Малыгина А.А., Одинцова О.И.</i> Применение наночастиц металлов в процессах отделки текстильных материалов.....	45
<i>Гурьянова Е.А., Асташкина О.В.</i> Наноккомпозиты на основе графенов и эпоксидной смолы и их перспективные свойства.....	47
<i>Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.</i> Изучение морфологии поверхности окисленных и восстановленных форм графенов.....	49
<i>Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.</i> Некоторые свойства окисленных и восстановленных форм графенов.....	51
<i>Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.</i> Полимерный наноккомпозит на основе эпоксидного связующего и наночастиц графенов.....	52
<i>Дворянцев Д.Д., Лишевич И.В., Шарко Е.А.</i> Влияние режима полимеризации и термообработки при горячем прессовании на термические, физико-механические и триботехнические свойства антифрикционного полимерного композиционного материала на основе модифицированной матрицы марки ЭТ-4 и углеродной ткани.....	54
<i>Джуама С.И., Петрова Д.А.</i> Исследование свойств композитов с наполнителями природного происхождения.....	56
<i>Дианкина Н.В.</i> Целенаправленная модификация прекурсоров как способ создания углеродных сорбентов нового поколения.....	57

<i>Дианкина Н.В., Кухаренко А.С.</i> Поверхностная модификация гидратцеллюлозных волокон техническим углеродом.....	59
<i>Дресвянина Е.Н., Смотрина Т.В., Добровольская И.П., Юдин В.Е.</i> Сорбционные свойства композиционных волокон хитозан-нанофибриллы хитина.....	60
<i>Иванова К.В., Розова Е.Ю., Дресвянина Е.Н., Колбе К.А., Юдин В.Е.</i> Получение композиционных волокон хитозан-лигнин.....	62
<i>Кильдеева Н.Р.</i> Сшивка функциональных полисахаридов как основа создания биокomпозитов.....	64
<i>Кирпаль Ю.Г., Силаева А.А., Ромахина Т.Р.</i> Использование машинного обучения в анализе зависимостей состав-свойства эрозионностойких наполненных лакокрасочных материалов.....	67
<i>Кольцова Т.Б., Цобкалло Е.С., Мещерякова Г.П.</i> Метод оценки безопасных диапазонов неразрушающих нагрузок элементарных полиамидных нитей и волокон.....	68
<i>Кудринская О.В., Асташкина О.В., Анисимов А.В.</i> Отверждающая система и её роль в производстве композиционных материалов.....	70
<i>Кучевская М.Е.</i> Исследование влияния химической структуры фталонитрильных мономеров и инициаторов на процессы поликонденсации и свойства полимерных композиционных материалов.....	72
<i>Лимич Ю.А., Джуама С.И., Петрова Д.А.</i> Исследование сорбционных свойств различных фракций измельченной лузги подсолнечника.....	74
<i>Линник Е.В., Усс Е.П.</i> Исследование пятна контакта шины низкого давления с неподвижным горизонтальным основанием.....	75

<i>Лобанова М.Ф., Кузин М.С., Герасименко П.С., Миронова М.В., Легков С.А., Скворцов И.Ю.</i> Влияние растворителя на реологические свойства концентрированных растворов поликарбосилана и характеристики формируемых из них волокон.....	77
<i>Лунина С.Е., Меш М.В., Карцева Т.Ю.</i> Низкотемпературный метод получения оптических покрытий деталей сложной формы из полимерных материалов с применением метода молекулярного наслаивания.....	79
<i>Лысенко В.А., Крисковец М.В.</i> Датчики температуры на основе полиоксидазольных волокон.....	81
<i>Лысенко В.А., Крисковец М.В., Яковлев С.А.</i> Углеродные поливинилспиртовые волокна: промышленное производство и перспективные разработки.....	82
<i>Мазуркевич Е.М., Лукичева Н.С., Хохлова В.А., Самбук Е.В., Краснова А.Б., Варганова К.А., Ниманова В.В.</i> Сравнительная оценка антимикробных свойств стеклопластиков с хлоргексидином при разных формах введения.....	84
<i>Мещеряков А.А., Шабиев Ф.К.</i> Моделирование нестационарного гелирования золя SiO ₂ в цилиндрическом микроканале с пристеночным нагревом.....	86
<i>Мусихина А.С., Марценюк В.В.</i> Влияние угловой скорости на толщину полимерных и композитных пленок, полученных методом спин-коутинга.....	88
<i>Одинцов А.С., Кулакова В.А., Владимирцева Е.Л.</i> Модификация полипропиленовых нитей композицией на основе оксида графена.....	90
<i>Панов Ю.Т., Мухамеджанов М.Р.</i> Исследование механических и релаксационных свойств композиций на основе вторичного полиэтилена.....	92
<i>Панузин К.И., Новожилова Е.А.</i> Электретные свойства композиционных материалов на основе пленок	

полипропилена с Ti- и Cr- содержащими поверхностными наноструктурами.....	93
<i>Пасько К.С., Дианкина Н.В.</i> Создание экструдера для производства филамента из вторичных полимеров.....	95
<i>Переход М.С., Петрова Д.А., Джуама С.И.</i> Разработка композиционных материалов на основе продуктов вторичной переработки текстильного полиакрилонитрила.....	97
<i>Перфильева Е.А., Марценюк В.В.</i> Влияние ультразвуковой обработки и углеродных наночастиц на кинетические параметры отверждения терморезактивных связующих.....	99
<i>Поляков И.В., Ваганов Г.В., Иванькова Е.М., Попова Е.Н., Елоховский В.Ю., Диденко А.Л., Юдин В.Е.</i> Разработка полиимидных композиционных материалов с углеродными наполнителями для 3D-печати.....	101
<i>Прохорова А.Е., Кузнецов А.Ю., Ширшова Е.П.</i> Наполненные пористые композиционные материалы на основе полинилового спирта.....	102
<i>Пушкарский П.С., Гладунова О.И.</i> Влияние размера и формы частиц наполнителей на радиопоглощающие свойства композиционных материалов.....	104
<i>Пылаев Д.Р., Чернов О.М., Кузнецов А.Ю.</i> Влияние способа диспергирования углеродных наполнителей на электрическое сопротивление композитов на основе эпоксидной смолы...	106
<i>Румянцев Н.И., Бодалёв И.С., Радул К.А.</i> Термические эффекты при спекании твердого сплава на основе карбида вольфрама, модифицированного методом молекулярного наслаивания.....	107
<i>Сажнев Н.А., Глаголева П.А.</i> Создание биополимерных систем для 3D-печати функциональных материалов на основе альгината натрия.....	108

<i>Саклакова Е.В., Гурьянова Е.А., Асташкина О.В., Безруков А.А.</i> Исследование свойств и методов модификации графенов.....	111
<i>Саклакова Е.В., Анисимов А.В., Некрытов П.С.</i> Современные методы и перспективы борьбы с обледенением ветроэнергетических установок.....	113
<i>Саклакова Е.В., Гурьянова Е.А., Асташкина О.В., Безруков А.А.</i> Влияние ультразвуковой кавитации на физико-химическую стабильность и реакционную способность эпоксидных связующих.....	115
<i>Салау И.О., Пономарева М.С.</i> Фотоэлектрохимические сенсоры для определения Cr(VI) на основе Zr-содержащих ПЭО-покрытий на титане.....	117
<i>Саргсян А.С., Дворянцев Д.Д., Шарко Е.А.</i> Разработка гибридного антифрикционного полимерного композиционного материала марки ПЭСТ-4.....	119
<i>Свешникова Е.С., Микая И.О.</i> Использование нетканых материалов в качестве сорбентов.....	121
<i>Сейталиева Д.Г., Лукичева Н.С., Виноградова Л.Е.</i> Выбор темплата для углеродного газонаполненного композитного материала.....	123
<i>Семёнов Н.С., Свердлова Н.И., Лукичева Н.С.</i> Некоторые аспекты получения композитов на основе полиэфирной смолы и продуктов вторичной переработки различных материалов для производства искусственного камня.....	124
<i>Сенченко П.Д., Бракк Д.Г., Власов П.П.</i> Неорганический полимер в сочетании с техногенными отходами.....	127
<i>Смирнов А.В.</i> Триазин-содержащие фталонитрильные мономеры в качестве компонентов связующих полимерных композиционных материалов.....	129
<i>Смирнов В.В., Кузнецов А.Ю.</i> Получение теплоизоляционных композиционных материалов на основе жестких пенополиуретанов.....	130

<i>Соколова А.А., Лёзова О.С., Шилова О.А., Иванова А.Г.</i> Катионпроводящие мембраны на основе модифицированного поливинилового спирта с наночастицами диоксида церия.....	132
<i>Солдатова Д.А., Соколов И.А., Поволоцкий А.В.</i> Синтез и свойства золотых наночастиц с оболочкой из диоксида титана...	133
<i>Ушканов А.А., Лазарева Н.Н., Охлопкова А.А.</i> Разработка композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и базальтовых волокон.....	134
<i>Фатьянова К.А., Марценюк В.В.</i> Исследование свойств полиакрилонитрильных волокон, наполненных сажей.....	136
<i>Федюченко Н.Р., Ширин О.И., Литин В.А.</i> Сравнительная оценка вязкости целлюлозы в азотсодержащих комплексах переходных металлов.....	138
<i>Фоминенко М.О., Лукичева Н.С.</i> Гибридные и градиентные теплоизоляционные материалы.....	139
<i>Христофоров Д.Е., Кузнецов А.Ю.</i> Водоразрушаемые преформы для получения стеклопластиковых композиционных сосудов методом намотки.....	141
<i>Христофоров Д.Е., Лукичева Н.С., Анисимов А.В., Кузнецов А.Ю.</i> Расчет соотношений разных типов армирующих нитей в структуре гибридных тканей.....	142
<i>Целуйкин В.Н., Трибис А.И., Тихонов Д.А.</i> Исследование электрохимического осаждения и свойства композиционных покрытий на основе никеля.....	146
<i>Цобкалло Е.С.</i> Молекулярно-деструкционные процессы в синтетических нитях.....	147
<i>Шагров С.Д., Витковская Р.Ф. Худяков И.Н.</i> Исследование стабильности закрепления полиаминных комплексов железа (III) и хрома (III) на текстильном носителе методом ступенчатого гравиметрического анализа.....	149

<i>Шевякова Е.И., Сажнев Н.А., Кильдеева Н.Р.</i> Получение биополимерных носителей наночастиц для магнитостимулируемой механической деформации гидрогелей.....	152
<i>Яковлев А.В., Яковлева Е.В., Брудник С.В.</i> Электрохимический синтез многослойного оксида графена в H ₂ SO ₄	154
<i>Яркевич А., Марценюк В.В.</i> Электропроводящие углеродные нетканые материалы на основе полиакрилонитрильного прекурсора, полученные методом электроспиннинга.....	155
<i>Яровой М.И., Свердлова Н.И., Кузнецов А.Ю.</i> Полимерсодержащие композиты как альтернатива натуральным строительным материалам.....	157

Абрамова А.Ю.^{1,2}, Гирсова М.А.^{2,1}, Мякин С.В.¹

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

²Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» — Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова

СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ СЕРЕБРОМ И САМАРИЕМ

Стекла, активированные серебром и самарием, обладают уникальными спектральными и люминесцентными свойствами в зависимости от соотношения серебра и самария в материале, а также режимов тепловой обработки материала [1, 2].

В работе получены новые композиционные материалы (КМ) на основе силикатных пористых стекол (ПС), активированных серебром и самарием. Матрицы ПС изготовлены путем сквозного выщелачивания пластин двухфазного стекла 8В-НТ заводской варки в водном растворе 3М HNO₃ при кипячении с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой при 120 °С (ПС-8В-НТ-120). В результате были получены матрицы ПС-8В-НТ-120 со следующими параметрами пор: пористость $W \sim 30\%$, удельная поверхность пор $S_{уд.} \sim 200 \text{ м}^2/\text{г}$, средний диаметр пор $D = 3\text{--}5 \text{ нм}$ [3, 4]. Значение W определено весовым методом, $S_{уд.}$ – методом БЭТ по тепловой десорбции азота при 77 К, значение D рассчитано в соответствии с процедурой [5]. По данным химического анализа исходные ПС-8В-НТ-120 стекла содержат, мас. %: 0,30 Na₂O, 3,14 В₂O₃, 96,45 SiO₂, 0,11 Al₂O₃ [3]. Исследование химического состава синтезированных стекол проводили по стандартным химико-аналитическим методикам. Образцы КМ получены путем пропитки при комнатной температуре ПС-8В-НТ-120 в различных водно-солевых растворах: 1) (10 или 100 мг/мл) AgNO₃, 2) (10 или 100 мг/мл) Sm(NO₃)₃, 3) смешанные растворы (соотношение солей в растворе AgNO₃/Sm(NO₃)₃ = 1:1, 1:10, 10:1) с последующей сушкой образцов при 120 °С. Затем образцы КМ и ПС-8В-НТ-120 были дополнительно подвергнуты тепловой обработке по специально разработанному режиму при температуре 600 °С в воздушной атмосфере. При приготовлении растворов для синтеза КМ использовали реактивы: серебро азотнокислое AgNO₃ (х.ч., 99,9 %), самарий азотнокислый 6-водный Sm(NO₃)₂·6H₂O (х.ч., 99,7 %). Принято следующее обозначение синтезированных образцов: 10Ag, 100Ag, 10Sm, 100Sm, 10Ag/10Sm,

10Ag/100Sm, 100Ag/10Sm – в соответствии с концентрацией пропитывающих растворов. Выполнены исследования КМ методом оптической спектроскопии в спектральном диапазоне 190–1100 нм (спектрофотометр СФ-2000, наименьший спектральный разрешаемый интервал 1 нм). Проведены исследования КМ методом люминесцентной спектроскопии на спектрофлуориметре СМ 2203 (Solar; источник возбуждения – ксеноновая лампа 150 Вт, спектральная ширина щели: 1–5.0 нм). Выполнены исследования КМ методом ближней ИК спектроскопии в области частот 11000–4000 см⁻¹ с помощью спектрофотометра ФСМ-2211 со спектральным разрешением 2 см⁻¹. Исследования КМ указанными методами проводили на образцах толщиной 1.50 ± 0.15 мм при комнатной температуре. В качестве образцов сравнения использованы матрицы ПС-8В-НТ-120 и ПС-8В-НТ-600. Установлено влияние состава КМ (концентрация введенного серебра и самария) на их спектральные и люминесцентные свойства.

Авторы благодарят к.х.н., доцента В.В. Бахметьева за проведение исследования КМ методом люминесцентной спектроскопии.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХС (Государственная регистрация № 1024030700034-2-1.4.3).

Список литературы

1. **Guo, Z.** SmF₃ doping and heat treatment manipulated Ag species evaluation and efficient energy transfer from Ag nanoclusters to Sm³⁺ ions in oxyfluoride glass / Z. Guo, S. Ye, T. Liu, S. Li, D. Wang // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2017. – Vol. 458. – P. 80–85.
2. **Малашкевич, Г. Е.** Влияние серебра на люминесценцию Sm³⁺ в «аэросильных» кварцевых стёклах / Г. Е. Малашкевич, А. В. Семченко, А. А. Суходола, А. П. Ступак, А. В. Суходолов, Б. В. Плющ, В. В. Сидский, Г. А. Денисенко // *Физика твёрдого тела*. – 2008. – Т. 50, Вып. 8. – С. 1408–1415.
3. **Antropova, T. V.** Spectral properties of the high-silica porous glasses doped by silver halides / T. V. Antropova, M. A. Girsova, I. N. Anfimova, I. A. Drozdova // *Journal of Luminescence*. – 2018. – Vol. 193. – P. 29–33.
4. **Гирсова, М. А.** Спектрально-люминесцентные свойства нанокompозитных материалов на основе пористых силикатных стекол, легированных бромидом серебра и меди / М. А. Гирсова, Г. Ф. Головина, Л. Н. Куриленко, И. Н. Анфимова // *Физика и химия стекла*. – 2020. – Т. 46, № 6. – С. 560–573.
5. **Антропова, Т. В.** Влияние состава и температуры тепловой обработки пористых стекол на их структуру и светопропускание в видимой спектральной области / Т. В. Антропова, И. Н. Анфимова, Г. Ф. Головина // *Физика и химия стекла*. – 2009. – Т. 35, № 6. – С. 755–766.

Алехина Н.А.^{1,2}, Дианкина Н.В.²

¹Волховский филиал АО «Апатит»

²Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ САРЖЕВОГО И АТЛАСНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПУЛЬП

В промышленности фильтрация является ключевым процессом разделения суспензий, а эффективность работы фильтр-прессов напрямую зависит свойств фильтровальных тканей. Фильтр-прессы компании «Дифенбах» получили широкое распространение благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам. Однако эффективность их работы во многом зависит от структурных параметров фильтрующих элементов.

Были проведены экспериментальные исследования двух типов полипропиленовых фильтровальных тканей: саржевого (СЖ04515) и сатинового (СТ04413) переплетения. Испытания проводились на пульпе первой и второй стадий нейтрализации производства триполифосфата натрия при температуре 80 °С, вакууме 0,6 кг/см² и площади фильтрации 8,04 см². Базовыми образцами служили ткани РММ 3508 и РРД 3129, применяемые на предприятии.

Ткань СТ04413 (сатин) испытывалась на пульпе первой стадии нейтрализации. Фильтрация также была медленной, первые порции фильтрата содержали проскок твердой фазы и отбрасывались. За 9 минут получено в среднем 11,27 мл чистого фильтрата, скорость фильтрации составила 0,09 м³/м²·ч, что в 4,5 раза выше базового образца РРД 3129 (0,02 м³/м²·ч). Содержание взвешенных частиц в фильтрате — 0,0200 г/дм³, что на 0,005 г/дм³ ниже базового значения 0,0250 г/дм³.

Ткань СЖ04515 (саржа) испытывалась на пульпе второй стадии нейтрализации. Фильтрация оказалась крайне медленной, объем фильтрата за 10 минут составил в среднем 18,53 мл, скорость фильтрации — всего 0,1 м³/м²·ч, что в 25 раз ниже базового образца РММ 3508 (2,5 м³/м²·ч). Прозрачность фильтрата составила в среднем 83,9 %, что на 5,7 % ниже базового значения 89,6 %. Высокая плотность ткани (530 г/м²) и низкая воздухопроницаемость (12–16 л/м²·с) создают чрезмерное гидравлическое сопротивление, делая ткань непригодной для данной суспензии.

Таким образом, ткань СТ04413 (сатин) обеспечивает более высокую скорость фильтрации и лучшее качество фильтрата за счет меньшей плотности (460 г/м²), меньшей толщины (0,7 мм) и иного типа переплетения. Ткань СЖ04515 (саржа) из-за высокой плотности и низкой

воздухопроницаемости показала крайне низкую производительность и ухудшение прозрачности фильтрата. На основе результатов ткань СТ04413 рекомендована для замены на первой стадии нейтрализации, а ткань СЖ04515 не рекомендуется к применению. Для пульпы второй стадии требуется поиск альтернативных материалов с промежуточной воздухопроницаемостью.

Алфёров А.А., Яковлев А.В., Яковлева Е.В., Брудник С.В.

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ НАНО СТРУКТУРИРОВАННЫХ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРООКСИДОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ НИКЕЛЕВОЙ ПЕНЫ

Слоистые двойные гидроксиды (СДГ) представляют собой класс неорганических наноматериалов, которые в последние годы привлекли значительное внимание исследователей в области антикоррозионной защиты. Их уникальная слоистая структура и способность к анионному обмену делают их идеальной основой для создания экологичных защитных покрытий [1].

Одним из способов получения СДГ является гидротермальное осаждение. Выращивание СДГ непосредственно на металлической подложке дает следующие преимущества:

- Покрытие формируется прямо на подложке.
- Обеспечивается отличная механическая прочность покрытия.
- Достигается равномерное нанесение по всей площади поверхности.
- Метод эффективен даже на сложных трехмерных формах.

Данный подход особенно важен в случаях, когда изначально порошкообразный СДГ трудно нанести на твердую подложку традиционными методами.

В представленной работе синтез СДГ систем Co–Al и Co–Al–Fe осуществляли методом гидротермального осаждения на подложку из вспененного никеля с использованием нитратов соответствующих металлов. Концентрация солей в исходном растворе составляла 0,001 М, а молярные соотношения Co:Al:Fe и Co:Al были равны 2:1:1 и 2:1 соответственно. В качестве осадителя применяли мочевины с концентрацией 0,005 М. Для равномерной пропитки пор подложки пластину никелевой пены помещали в полученный раствор при непрерывном перемешивании на 2 часа. Далее раствор вместе с пластиной переносили в

автоклав объемом 50 мл и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 120 °С в течение 18 часов. По завершении синтеза пластину извлекали, промывали дистиллированной водой для удаления остатков реакционной смеси и высушивали.

Для идентификации строения покрытия на подложке использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ). Результаты СЭМ показали, что сформированное покрытие является равномерным и характеризуется упорядоченной игольчатой структурой.

Для идентификации образцов по вышеописанной методике были синтезированы порошки СДГ без подложки. Согласно данным лазерной дифракции, средний размер частиц для системы Со–Al–Fe составил 400 нм, тогда как для системы Со–Al – 450 нм. Размеры кристаллитов, оцененные по изображениям СЭМ, демонстрируют близкие к указанным значения.

Дифрактограммы всех образцов показывают основные пики, типичные для фазы СД, индексируемые как отражения 003 и 006 [2], а для ИК-спектров – полосы в области 3400–3500 см⁻¹ (валентные колебания ОН-групп) и 400–800 см⁻¹ (колебания связей металл–кислород).

Список литературы

1. **Bouali, A. C. et al.** Zn-Al LDH growth on AA2024 and zinc and their intercalation with chloride: Comparison of crystal structure and kinetics //Applied Surface Science. – 2020. – Т. 501. – С. 144027. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144027>
2. **Goh K. H., Lim T. T., Dong Z.** Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: a review //Water research. – 2008. – Т. 42. – №. 6-7. – С. 1343-1368. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.043>

Анущенко Т.Ю., Хохлова В.А., Литвиченко К.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИГЛИКОЛИДА

Применение в хирургии синтетических быстрорассасывающихся шовных материалов становится все более распространенным. Эти материалы не вызывают необратимых реакций в организме человека, а заживление тканей происходит в сроки, соответствующие естественным репаративным процессам.

Знание технологических свойств полимеров критически важно при разработке способов получения быстрорассасывающихся материалов так как они напрямую влияют на эффективность, безопасность и долговечность конечного продукта.

Цель настоящего исследования заключалась в изучении термических свойств шовных материалов на основе полигликолида, подвергнутых влиянию ионизирующего излучения.

Объектами исследования являлись хирургические шовные материалы на основе полигликолида, а именно: нить TRISORB от компании «Samyang Biopharmaceuticals Corporation» (Корея) без обработки и нить TRISORB от компании «Samyang Biopharmaceuticals Corporation» (Корея) после воздействия γ -облучения (доза 0,5 Мрад).

Испытания образцов проводили методами термического анализа (термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК)) на приборах марок TG 209 F1 и DSC 204 F1 фирмы NETZSCH (Германия). Термические методы анализа полимеров – это группа методов, которые изучают изменения физических и химических свойств полимерных материалов при программируемом изменении температуры в контролируемой атмосфере. Они позволяют получить информацию о фазовых переходах, термической стабильности, составе и кинетике различных процессов.

В процессе исследования были определены: остаточная масса при 800°C и температура, при которой потеря массы достигает 5% от общей массы образца (температура начала деструкции). Термогравиметрический анализ показал, что термическая деструкция материала исходного и модифицированного происходит в диапазоне 300–400 °С. Воздействие на полигликоolidную нить γ -излучением приводит к перестройке внутренней структуры полимера: уменьшается молекулярная масса, вследствие чего наблюдается снижение температуры плавления на 23 °С по сравнению с необработанным полимером. Очевидно, что происходит разрыв макромолекул и за счет накопления низкомолекулярных соединений на термограмме появляется дополнительный пик при 218 °С, однако потери массы не происходит, кроме того, наблюдается снижение температуры пика термостойкости на 10 °С.

По результатам, полученным с использованием ДСК были рассчитаны температуры плавления и температуры стеклования образцов, определенные при втором сканировании. Можно отметить, что все образцы являются частично кристаллическими, о чем свидетельствует наличие на термограммах ярко выраженных эндотермических пиков плавления. Определение температуры стеклования затруднено (переход слабо выраженный) вероятно из-за наличия большого объема кристаллической фазы. Пики плавления являются двойными, наиболее четко этот эффект

выражен при втором сканировании. Температура плавления образца, подвергнутого обработке дозой 0,5 Мрад выше, чем у исходного (без обработки). Исследования, проведенные методом ДСК, показали, что на исходных нитях и нитях после воздействия ионизирующего излучения наблюдаются переходы плавления и стеклования, при этом значения температур стеклования практически совпадают.

В результате проведенных исследований установлено, что структура полимера, подвергнутого влиянию радиационного воздействия, становится более рыхлая, накапливаются внутренние дефекты, что и объясняет смещение пика термостойкости. Изменение внутренней структуры полимера в результате радиационного воздействия приводит к изменению скорости биодegradации, а также к изменению физико-механических свойств шовных материалов, что открывает возможности для создания нитей с прогнозируемым сроком рассасывания, соответствующим динамике заживления ран.

Таким образом, глубокое понимание технологических свойств полимеров позволяет целенаправленно влиять на характеристики материалов, оптимизировать процессы их получения и эксплуатации, а также создавать изделия с заданными свойствами для конкретных применений.

Асташкевич Е.В., Цена Е.В.

Белорусский государственный технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЗАПОТЕВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

При упаковке продуктов питания большое значение приобретает наравне с сохранением качества также предоставление покупателю презентабельного внешнего вида продукта и возможности визуальной оценки его состояния. Одним из нежелательных явлений, снижающих покупательскую способность товаров, является появление на поверхности пленки конденсата в виде капель влаги, которые снижают ее прозрачность. Для борьбы с этой проблемой в пленку вводят специальные добавки – антифоги, которые мигрируют на поверхность пленки, изменяют коэффициент поверхностного натяжения, делая пленку гидрофильной и заставляя влагу растекаться тонким слоем по поверхности пленки.

Работа направлена на решение важной производственной задачи, целью которой является поиск концентрации добавки, обеспечивающей требуемые характеристики пленки, а именно, обеспечение устойчивости к

запотеванию, а также изучению влияния антифогов на свойства полимерных пленок. Для оценки эффективности антифогов используют тест на «холодное отпотевание». В лоток для упаковки продуктов наливается вода, затем он запаивается исследуемой пленкой и помещается в горячую воду температурой 60 °С. Через определенные промежутки времени наблюдают за образованием на поверхности пленки капель влаги, их количеством и размером. В зависимости от этого присваивается определенный класс в баллах, чем выше балл, тем меньше капель на поверхности образца. Результаты полученных исследований с использованием антифогов 1000170-Е AF PE MB производства фирмы Apraset для 9-слойных полимерных пленок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты теста на «холодное отпотевание» пленок

Содержание антифогов в 9-м слое, %	Оценка в баллах
9	3
10	5
11	5
14	9
16	9

Из таблицы видно, что наилучшая устойчивость к запотеванию наблюдается при концентрации добавок 14 и 16 %, при уменьшении концентрации антифогов его количества становится недостаточно для обеспечения требуемых оптических свойств пленки.

Ахметзянова Л.Н., Виладчева Ю.Ю., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА-ГАРНЕТТА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОПРОЗРАЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Для расчёта эффективной диэлектрической проницаемости разрабатываемых полимерных композиционных покрытий на основе эпоксидного связующего и комбинированного дисперсного наполнителя, состоящего из полых стеклянных микросфер, тригидрата алюминия и диоксида кремния, была выбрана модель Максвелла-Гарнетта (формула 1).

Формула для одного шага (матрица + один наполнитель) имеет вид:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = \varepsilon_m \cdot \frac{2\varepsilon_m + \varepsilon_f + 2V_f(\varepsilon_f - \varepsilon_m)}{2\varepsilon_m + \varepsilon_f - V_f(\varepsilon_f - \varepsilon_m)}, \quad (1)$$

где

$\varepsilon_{\text{эф}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость образца;

ε_m – диэлектрическая проницаемость матрицы;

ε_f – диэлектрическая проницаемость наполнителя;

V_f – объемная доля наполнителя в общем объеме.

Данная модель описывает гетерогенную среду, состоящую из непрерывной эпоксидной матрицы и равномерно распределённых сферических включений (частицы наполнителей). В разрабатываемых покрытиях наполнители (полые стеклянные микросферы, тригидрат алюминия и диоксид кремния) распределены хаотично, а форма их частиц близка к сферической или изометричной, что соответствует геометрии, для которой модель Максвелла-Гарнетта даёт наилучшие результаты [1].

Модель корректно работает при объёмных долях наполнителя до 30–40%. Кроме того, она позволяет учитывать последовательность введения нескольких типов наполнителей, что соответствует принятому составу ($\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{ПСМС}$). Для образцов, состоящих из нескольких наполнителей, расчёт выполняется пошагово. На каждом шаге эффективная проницаемость, полученная на предыдущем этапе, принималась за проницаемость новой матрицы для следующего наполнителя.

Для расчёта требуются только диэлектрические проницаемости компонентов и их объёмные доли, что упрощает вычисления. Данный метод является одним из наиболее проверенных и широко используемых в научно-технической литературе для расчёта диэлектрических свойств композиционных материалов со сферическими включениями.

В отличие от альтернативной модели Бруггемана, которая требует решения нелинейного уравнения и не учитывает последовательного введения компонентов, выбранная модель в наибольшей степени соответствует структуре, составу и технологии получения разрабатываемых покрытий.

Список литературы

1. **Markel, V. A.** Introduction to the Maxwell Garnett approximation: tutorial / V. A. Markel // Journal of the Optical Society of America A. – 2016. – Vol. 33, iss. 7. – P. 1244–1256.

Ахметзянова Л.Н., Виладчева Ю.Ю., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ ТРЁХКОМПОНЕНТНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ЭПОКСИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ

Современные полимерные композиционные материалы (ПКМ) должны сочетать комплекс часто взаимоисключающих свойств: высокую механическую прочность, низкую плотность, атмосферостойкость и радиопрозрачность. Достижение комплекса требуемых свойств в одном материале становится возможным благодаря целенаправленному подбору и сочетанию различных компонентов. В работе используется трёхкомпонентный функциональный наполнитель для эпоксидного стеклопластика, включающий наноразмерный диоксид кремния, тригидрат алюминия и полые стеклянные микросферы (ПСМС). Основным эффектом заключался в синергическом взаимодействии компонентов, благодаря которому достигнутые свойства превышают сумму свойств каждого из них в отдельности.

Установлено, что диоксид кремния формирует внутри эпоксидной матрицы дополнительный «армирующий каркас», повышая прочность и жёсткость композита, а также придаёт связующему тиксотропные свойства, улучшающие технологичность формования. Введение тригидрата алюминия способствует упрочнению композита, увеличению его атмосферной стойкости и обеспечению пожаробезопасности. Полые стеклянные микросферы выступают основным компонентом, отвечающим за радиопрозрачность: благодаря низкой диэлектрической проницаемости они обеспечивают беспрепятственное прохождение радиосигнала и существенно снижают плотность композита без ухудшения механических свойств.

Был разработан поэтапный способ введения наполнителей в эпоксидное связующее с учётом различий в их физико-химических свойствах и устойчивости к сдвиговым нагрузкам.

На первом этапе предложено вводить диоксид кремния, обладающий наибольшей удельной поверхностью и склонностью к агломерации за счёт водородных связей. На этом этапе вязкость системы минимальна, что позволяет применять максимальные напряжения сдвига для дезагломерации частиц.

Сформированная частицами диоксида кремния тиксотропная структурная сетка предотвращает оседание более плотного и тяжёлого тригидрата алюминия, который вводится в связующее на втором этапе.

ПСМС рекомендуется вводить на последнем этапе. Преждевременное добавление микросфер привело бы к их разрушению под действием

абразивных частиц диоксида кремния и тригидрата алюминия. К моменту введения микросфер эпоксидное связующее обладает достаточно высокой вязкостью, достигнутой за счет ранее внесенных и хорошо диспергированных наполнителей. Кроме того, частицы диоксида кремния и тригидрата алюминия, покрытые слоем связующего, утрачивают абразивность по отношению к поверхности микросфер.

Соблюдение описанной последовательности и режимов диспергирования является определяющим фактором для достижения гомогенного распределения наполнителей и, как следствие, заданных физико-механических и функциональных свойств полимерного композиционного материала.

Бакаева М.А., Сашина Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОХРОМНЫХ ПЛЕНОК И ВОЛОКОН ПАН

Термохромные материалы представляют большой интерес для различных областей жизни человека. Их способность изменять цвет в зависимости от изменения температуры может использоваться в температурных датчиках, умной упаковке, дизайне, строительстве, спецодежде и т.д.

Термохромные красители – это система из красителя, проявителя и растворителя, заключенных в полимерную оболочку.

Нами были получены растворы ПАН (взят сополимер акрилонитрила $\text{CH}_2=\text{CHCN}$), метилметакрилата $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$ и итаконовой кислоты $\text{CH}_2=\text{C}(\text{COOH})\text{CH}_2\text{COOH}$) в ДМФА [1] с концентрациями от 10 до 15%. Количество микрокапсулированного термохромного красителя было от 10 до 35 масс. % от массы ПАН. Для предотвращения образования агломератов красителя растворы обрабатывали в ультразвуковой ванне *Stegler 6DT* с частотой ультразвука 40 кГц и мощностью 180 Вт.

Размеры частиц красителя в растворах изучали на микроскопе медицинском лабораторном *МикМед-6 (ЛОМО, Россия)* в проходящем свете при освещении по методу светлого поля с увеличением до 100х. Крупных агломератов обнаружено не было, максимальный размер составил не более 30 мкм. Размер отверстий фильеры при формовании волокна составляет 70 мкм, что исключает возможность их забивания частицами красителя.

Пленки отливали путем нанесения на предварительно нагретое стекло, сверху накрывали вторым стеклом и помещали в осадительную ванну (нерастворитель – вода).

В результате исследования получены термохромные полимерные материалы и доработана методика введения термохромных красителей в растворы ПАН.

Список литературы

1. **Sashina, E. S.** Preparation and Properties of Thermochromic Films of Polyacrylonitrile from DMF Solutions / E. S. Sashina, K. M. Khandobina, O. I. Yakovleva // *Fibre Chemistry*. – 2024. – Vol. 56. – № 3. – P. 209-211. – DOI 10.1007/s10692-024-10555-6. – EDN HRGREA.

Бакутин Д.С., Силкин Д.С., Ерохина О.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ГУЗА-ПАИ

Миллионы тонн остатков хлопчатника ежегодно сжигается на полях после сбора урожая в таких странах как Узбекистан, Таджикистан и Казахстан, где выращивание хлопка является основным источником дохода. Процесс сжигания отходов влечет за собой большие экологические проблемы.

Решение вопроса экологии возможно в результате переработки отходов хлопчатника – гуза-паи, например, в топливные брикеты.

На сегодняшний день наиболее перспективной для получения топливных брикетов является технология, разработанная А.А. Пекарцом. Она реализована на предприятии ООО «Лесная технологическая компания», базирующемся в Иркутске, а также ряде других компаний России и Латвии. Данная технология основана на направленном изменении релаксационного состояния полимерных компонентов древесины при совместном воздействии температуры и пластифицирующего действия воды.

Целью данной работы является исследование влияния термо- влагопластичности на процесс формирования брикета из гуза-паи.

В качестве образцов для исследования использовали отходы хлопчатника (гуза-паи) из Узбекистана (г. Ташкент, 2025 г.).

Технология получения брикетов из отходов включает: измельчение, пропарку сырья, формирование брикета.

В связи с этим, сначала стебли гуза-паи укорачивали до размера 2 – 3 см дисковой пилой, а затем измельчали в дисковой мельнице. Фракционный состав определяли с помощью фракционных сит СП-200 (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Фракционный состав гуза-паи

Фракция, мм	Масса, %
1,6 – 10	20,0
0,25 – 1,6	60,0
Менее 0,1 – 0,25	20,0

Пропарку отходов хлопчатника (гуза-паи) проводили с помощью увлажнителя в течение времени $t = 30 - 70$ с, что соответствует влагосодержанию $W = 12 - 24$ %. Влагосодержание образцов гуза-паи определяли на влагомере MX-50 Moisture Analyzer (0.01 % Moisture Content).

Для осуществления процесса прессования гуза-паи в брикеты в лабораторных условиях использовали пресс-форму из стали с подвижным пуансоном. Пропаренное до нужной влажности сырьё, массой примерно 2 грамма, засыпали в предварительно нагретую до 100 °С форму. Пресс-форму с измельченной гуза-паей устанавливали на нижний пуансон установки «Инстрон-1121» и осуществляли одноосное прессование в брикеты в диапазоне нагрузок $P = 4000 - 7000$ Н при скорости деформирования $V = 100$ мм/мин и температуре $T = 85$ °С в режиме релаксации напряжений.

При проведении экспериментальных исследований по прессованию измельченной гуза-паи в брикеты в работе было изучено влияние влажности, температуры и нагрузки на процесс формирования брикетов и их физико-механические свойства.

Опытным путём было установлено, что наибольшая плотность брикета из гуза-паи достигается при влажности сырья $W = 14$ %, нагрузке $P = 5000$ Н, при температуре $T = 85$ °С и скорости деформирования $V = 100$ мм/мин.

Выводы:

1. Разработана методика прессования гуза-паи с помощью пресс-формы на универсальной установке «Инстрон-1121».

2. В результате проведенных исследований в лабораторных условиях был получен брикет из гуза-паи данной фракции плотностью $\rho = 1,1$ г/см³.

3. Установлены оптимальные режимы прессования образцов: нагрузка $P = 5000$ Н: влажность $W = 14$ %, температура $T = 85$ °С, скорость деформирования $V = 100$ мм/мин.

Список литературы

1. **Ахмедов А. Р.** Кому нужна гуза-пая / А. Р. Ахмедов, И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов. – Журнал химия и жизнь. – 1986. – С. 24.

2. **Akim E. L.** Relaxation state of wood and obtaining cellulose composites for energy purposes: wood briquettes and pellets / Akim E.L., Pekaretz A.A., Rogovina S.Z., Berlin A.A. / Polymer. ser. D. 2021. Vol. 14. No. 1. S. 102-105.
3. Патент № 2628602 С1 Российская Федерация, МПК С10В 53/02. Устройство для получения древесного угля : № 2016131150 : заявл. 27.07.2016 : опубл. 21.08.2017 / А. А. Пекарец ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ПРОМЕТЕЙ" (ООО "ПРОМЕТЕЙ").

Борисов Г.В.

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕМОНТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ МАССОЙ ДО 60 КГ

В пилотируемой авиации проектирование планеров из полимерных композиционных материалов (ПКМ) регламентируется авиационными правилами, предписывающими строгий контроль характеристик связующего (пористость, степень полимеризации, наличие расслоений), обязательное обоснование остаточной прочности для каждой категории повреждений и сертифицируемый ресурс. Для беспилотных авиационных систем (БАС) с максимальной взлётной массой до 60 кг сложилась принципиально иная нормативно-техническая ситуация. С одной стороны, такие аппараты формально попадают под действие Норм лётной годности НЛГ БАС-СТ (для БАС массой свыше 30 кг). С другой стороны, их проектирование и эксплуатация исторически базируются на методологиях, унаследованных от авиамоделизма, где допускаются эмпирические подходы и итеративная отработка конструкции. Данный дуализм порождает системные особенности, требующие самостоятельного анализа.

Выбор верхней границы массы 60 кг не является произвольным и не претендует на замену законодательно установленного порога в 30 кг. Он продиктован прямым обобщением многолетней практической деятельности автора в области разработки и эксплуатации БАС. Анализ опыта показывает, что при массе до 60 кг сохраняется возможность использования лёгкой катапульты, конструкция остаётся транспортабельной одним человеком, а ремонт может выполняться в полевых условиях без применения специализированного стапельного оборудования. Таким образом, порог 60 кг представляет собой эмпирически выделенную границу, разделяющую класс «малых» БАС (ориентированных на высокую ремонтпригодность и быструю заменяемость элементов) от аппаратов, приближающихся по сложности к пилотируемой авиации. При этом для

масс до 30 кг специализированные НЛГ отсутствуют, что создаёт правовую неопределённость, а для диапазона от 30 до 60 кг действуют требования, сопоставимые с «большой» авиацией, что не всегда оправдано с технической и экономической точек зрения. Указанное противоречие является одним из стимулов настоящего доклада.

На основе обследования более 30 типов планеров БАС массой до 60 кг (преимущественно схемы «верхнеплан», изготовленных из ПКМ) установлено, что расчётные полётные перегрузки не являются лимитирующим фактором при назначении толщин обшивки и сечений силовых элементов. Ключевым ограничением выступает **жёсткость конструкции при наземном обслуживании и транспортировке**. Элементы планера (крыло, оперение, центроплан) должны сохранять геометрию без остаточных деформаций и разрушения, при приложении сосредоточенной нагрузки порядка 200–300 Н, что имитирует типовые эксплуатационные воздействия (захват рукой, опирание на кромку). Данное требование, как правило, приводит к увеличению толщины обшивки в 1,5–2 раза по сравнению с величиной, необходимой для восприятия предельных аэродинамических нагрузок. Следовательно, **конструкция БАС массой до 60 кг обладает систематическим запасом прочности** и не может считаться оптимизированной по массе. Более того, с высокой степенью вероятности такая оптимизация не будет достигнута в обозримом будущем ввиду приоритета эксплуатационной живучести и низкой стоимости ремонта над весовым совершенством.

Для БАС массой до 60 кг целесообразна разработка специализированной нормативно-технической базы по дефектации и ремонту конструкций из ПКМ. Основной причиной является систематическое завышение прочности, обусловленное доминированием требований жёсткости при наземной эксплуатации над полётными нагрузками. Порог 60 кг обоснован эмпирически, однако при формировании нормативных документов необходимо учитывать существующий в законодательстве критический рубеж в 30 кг.

Список литературы

1. Приказ Минтранса России от 28.02.2023 № 61 «Об утверждении Федеральных авиационных правил "Форма и порядок оформления сертификата лётной годности беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой более 30 килограммов"»
2. Приказ Росавиации от 16.12.2022 № 922-П «Нормы лётной годности беспилотных авиационных систем с беспилотным воздушным судном самолётного типа с максимальной взлётной массой до 5400 кг НЛГ БАС-СТ»

Бужак А.А., Ширшова Е.П., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЧВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Почвенные субстраты (искусственные почвы) широко применяются в сельском хозяйстве как основа гидропонных производств. В качестве таких субстратов используют стекломаты, кокосовое волокно, керамзит и другие материалы. К их достоинствам относятся высокая водоудерживающая способность, благоприятная среда для формирования корневой системы, а также отсутствие семян сорняков и патогенных микроорганизмов. Однако при гидропонном выращивании возникают сложности: системы должны быть замкнутыми, требуется постоянный подвод удобрений, со временем развивается микрофлора, а очистка затруднена из-за слеживания материала и ухудшения эксплуатационных показателей. Кроме того, такие материалы должны быть высокопористыми и иметь достаточно большое водопоглощение, что не всегда соблюдается на традиционно используемых материалах.

Всем этим требованиям в полной мере соответствуют пористые композиционные материалы (КМ) на основе поливинилового спирта (ПВС), которые обладают нейтральным рН, способны удерживать влагу без застоя, способны удерживать питательные вещества и поддерживать биологическую активность растений, имеют большую воздухопроницаемость, а также отсутствие патогенной микрофлоры.

Наполненные пористые композиционные материалы получали на основе 11 % водного раствора поливинилового спирта. В качестве наполнителей использовались природные возобновляемые материалы – опилки, кокосовое волокно, и стружка и торф, а также ионообменные волокна, как наполнитель, способный удерживать и постепенно отдавать растению необходимые для его жизнедеятельности микро- и макроэлементы. Композиты получали по следующей схеме: к раствору ПВС добавляли формалин, соляную кислоту, поверхностно-активное вещество (ПАВ ОП-10), газообразователь и наполнители. Смесь перемешали до однородности, выливали в форму и выдерживали на водяной бане при температуре 90 °С в течение 1,5 – 2 часов. Уровень воды в бане должен быть выше, чем уровень смеси. При этом происходит сшивка поливинилового спирта формалином, газовыделение и формирование пористой структуры. Степень наполнения составляла 20 масс. %.

У полученных образцов исследовано водопоглощение и определено содержание пустот наполненных композитов (пористости).

Выявлено, что композиты, наполненные ионообменным волокном и опилками обладают наилучшими показателями водопоглощения (531 % у КМ наполненных ионообменным волокном и 230 % у КМ наполненных опилками) и содержанию пустот (57 % у КМ наполненных ионообменным волокном и 53 % у КМ наполненных опилками) среди исследованных композиционных материалов, что делает их наиболее эффективными для обеспечения влагоёмкости и аэрации субстрата. В КМ наполненные ионообменными волокнами и опилками был высажен семенной материал и получены положительные результаты в виде всходов ростков.

Быков Ф.А., Кулакова В.А., Владимирцева Е.Л.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ И НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ РАСТВОРОВ ПРЯМЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Прямые красители широко используются в текстильной промышленности. Они универсальны, просты в применении, охватывают практически всю цветовую гамму от светло-желтых до черных цветов, пригодны для крашения периодическим и непрерывным способами практически на любом красильном оборудовании. Одной из проблем при их применении является очистка сточных вод от красителей, незафиксированных на материале и удаленных с него в процессе промывки.

В работе оценивалась эффективность очистки воды от прямых красителей природными глинистыми минералами. В качестве объектов исследования использовались глины, отличающиеся составом и наличием примесей, обуславливающими их характеристики: Часов-Ярская, Лежневская, Веселовская, а также Бентонит.

Обычно для этой цели применяются модифицированные алюмосиликаты. Предварительная модификация повышает сорбционную активность и таким образом улучшает качество очистки [1]. Тем не менее, в ходе исследования установили, что, даже используя в качестве сорбента нативные глины, можно добиться обесцвечивания растворов красителей. Эксперименты показали, что если в раствор красителей добавить измельченные глинистые минералы, перемешать и отстаивать полученные суспензии в течение 7 сут. можно удалить от 60 до 90 % красителя. Однако, этот процесс длительный и не гарантирует абсолютной чистоты полученного раствора.

Увеличить сорбционную активность глинистых минералов можно при иммобилизации их на натуральных волокнистых материалах – хлопковом или шерстяном волокнах [2]. Обработка волокон порошками глини проводилась при комнатной температуре в течение 30 минут при постоянном перемешивании - процесс осуществляли из водной дисперсии при модуле ванны $M = 100$, после чего волокно тщательно отмывали от не закрепившихся частиц. Гравиметрические исследования обработанных и высушенных материалов показали, что на хлопковом волокне закрепляется до 5, а на шерстяном до 7 % глини от веса волокна [3]. Однако, несмотря на такое небольшое содержание алюмосиликатов на волокне, их сорбционная активность значительно возрастает (табл.1).

Результаты фотоколориметрических измерений и визуальной оценки растворов подтверждают высокую эффективность комбинации глинистых минералов с волокнистыми материалами в процессе обесцвечивания растворов прямых красителей. После их пропускания через разработанные фильтры интенсивность поглощения красителя снижается практически до нуля, что свидетельствует об удалении красящих соединений из раствора.

Таблица 1 – Оптическая плотность растворов красителей после фильтрации через комбинированный фильтр

Прямые красители	Волокно	Алюмосиликаты			
		Бентонит	Часов-ярская	Лежневская	Веселовская
оранжевый светопрочный 2Ж	шерсть	0,004	0,002	0,001	0,003
	хлопок	0,006	0,005	0,002	0,002
зеленый ЖХ	шерсть	0,003	0,004	0,002	0,003
	хлопок	0,003	0,001	0,003	0,003

Внедрение данной технологии сделает процесс очистки сточных вод не только высокоэффективным с технической точки зрения, но и экологически устойчивым. Это полностью соответствует принципам «зелёной» химии и циркулярной экономики. В перспективе целесообразно разработать комплексную технологию безопасной и эффективной утилизации отработанного сорбционного материала (алюмосиликата с хлопковым или шерстяным волокном) после его использования в качестве фильтрующего агента.

Список литературы

1. **Senthilkumar, K.** Adsorption studies on treatment of textile wastewater using low-cost adsorbent / K. Senthilkumar, V.C. Devi, S. Mothil, M. N. Kumar // Desalination and Water Treatment. – 2018. – V. 123. – P. 90–100.
2. **Быков, Ф. А.** Комбинированный материал с повышенной сорбционной активностью на основе природного волокнистого сырья и частиц бентонита

/ Ф.А. Быков, А.С. Одинцов, Е.Л. Владимирцева, А.К. Шибанова // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. обва). - 2025. - Т. LXIX, № 4. - С. 77–82.

3. **Быков, Ф. А.** Бентонит как модификатор свойств текстильных волокон / Ф.А. Быков, Е.Л. Владимирцева, А.М. Наливаева // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX) - Иваново, 2021. – С. 177–180.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 25-23-20119, <https://rscf.ru/project/25-23-20119/>

Ведерников И.С., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОТИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕФТЕПРОДУКТАМ НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

При разливах нефти или нефтепродуктов на морских или речных акваториях устранение аварийной ситуации и очистка акватории сталкивается с целым рядом проблем: затруднения при очистке от тонких пленок и невозможность удаления водорастворимых компонентов нефти механическими способами, а также вторичное загрязнение при биологических и реагентных способах очистки;

В настоящее время для ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов на больших площадях успешно применяется сорбционный метод. Основные преимущества этого метода: степень очистки от нефтяных загрязнений близка к 100%; высокая эффективность при удалении тонких (менее 1 мм) пленок нефти с поверхности воды; простота в реализации и обслуживании. Поэтому разработка сорбентов и поглотителей вредных загрязнений является, в связи с вышеизложенным, одной из важнейших задач.

В работе в качестве поглотителей нефтепродуктов были получены пористые композиты на основе поливинилформалия, наполненного углями, торфом и опилками.

Для этого была разработана технологическая схема получения сорбционно-активных материалов. На первом этапе был приготовлен водный раствор поливинилового спирта (ПВС), к нему добавлены формалин, соляная кислота, поверхностно-активное вещество, газообразователь и наполнители. Смесь перемешали до однородности и выдержали 2 часа на водяной бане при температуре 80°C. При этом

происходит сшивка поливинилового спирта формалином, газовыделение и формирование пористой структуры.

В качестве наполнителей использовали торф, активированный уголь из березовой древесины и осиновые опилки.

В результате были получены образцы со степенями наполнения 60 %, а также ненаполненный образец для сравнения.

Поглотительную способность по маслу ТАД-17 определяя по разности масс пропитанного маслом образца, помещенного в масло на 30 минут, и исходного образца.

Установлено, что пористые сорбенты, наполненные торфом, обладают наибольшей поглотительной способностью – 3,7 кг нефти /кг сорбента. Это может быть связано с большой пористостью композита (кажущаяся плотность 215 кг/м³) так как он наиболее пористый и имеет сродство к нефтепродуктам. Невысокие значения поглотительной способности образцов, наполненных опилками – 1,3 кг нефти /кг сорбента, объясняются недостаточно развитой пористой структурой. Композиционные материалы, наполненные углем, имеют среднюю нефтеёмкость – 2,9 кг нефти /кг сорбента благодаря достаточно развитой, равномерной пористой структуре (кажущаяся плотность 274 кг/м³).

Волкова Е.С., Борисова Н.В., Устинова Т.П.

Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ЖГУТИКА С КАПРОЛАКТАМОМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИОННО НАПОЛНЕННОГО ПОЛИАМИДА-6

Разработка способа полимеризационного наполнения полиамида-6 коротко резанным полиакрилонитрильным техническим жгутиком (ПАН-ТЖ) [1, 2] поставила задачу исследования процесса совмещения полиакрилонитрильного волокнистого наполнителя с расплавом капролактама.

Из литературных данных [3] известно, что капролактама является одним из растворителей полиакрилонитрила. Учитывая, что исследуемый ПАН-ТЖ получен на основе тройного сополимера, синтезируемого из акрилонитрила (90 – 92 %), метилакрилата (6 %) и итаконата натрия (1,5 – 3,0 %), в работе изучена его растворимость в используемом для синтеза полиамида-6 расплаве капролактама. Установлено, что при

совмещении технического жгутика с расплавом капролактама при температуре 90 – 95 °С происходит растворение сополиакрилонитрила в мономере, подтвержденное визуальной оценкой и расчетом коэффициента растворимости ПАН-ТЖ с использованием уравнения Гильдебранда – Смолла, и последующее образование монолитного, однородного по морфологии и цвету, материала при охлаждении раствора ниже температуры кристаллизации капролактама.

Из расчетных и экспериментальных данных следует, что при введении 5 – 10 % ПАН-ТЖ в расплав мономера его полное растворение происходит в течение 15 минут. Образующийся при охлаждении расплава до комнатной температуры материал предложено называть «твердофазным раствором» ПАН-ТЖ в капролактаме, так как он представляет собой однородное твердое тело, содержащее несколько компонентов.

Для изучения химического состава твердофазного раствора ПАН-ТЖ в капролактаме использовали метод ИКС, результаты которого свидетельствуют о том, что, несмотря на некоторое снижение интенсивности пиков, спектральная картина образцов твердофазного раствора практически не изменяется, в частности, не изменяют своего положения пики, соответствующие таким группам капролактама как C=O, N-H, т.е. полученный твердофазный раствор, в основном, имеет химический состав мономера.

Учитывая, что отличительной особенностью твердых растворов является сохранение растворителем кристаллической фазы, в которой располагаются элементы растворяемых компонентов [4], для дополнительной идентификации исследуемого твердофазного раствора ПАН-ТЖ в капролактаме использовали рентгенографический анализ. Установлено, что для дифрактограммы исследуемого раствора ПАН-ТЖ в капролактаме характерно наличие двух изменений. Во-первых, появление четкого нового пика вблизи $2\theta \approx 23^{\circ}$, который отсутствует на кривых исходных веществ. Во-вторых, наблюдается рассеянная область, которая начинается при $2\theta \approx 16,5^{\circ}$ и заканчивается при $2\theta \approx 29,5^{\circ}$. Такое поведение, очевидно, связано с изменениями кристаллической фазы твердофазного раствора ПАН-ТЖ в капролактаме.

В связи с этим, были определены структурные характеристики исследуемых материалов, в частности, степень их кристалличности и размер кристаллитов с использованием данных РФА и ИКС. Полученные результаты показывают практическое соответствие степени кристалличности твердофазного раствора на основе ϵ -капролактама и 10 % ПАН-ТЖ и исходного капролактама при значительном снижении среднего размера кристаллитов у твердофазного наполненного мономера. Таким образом, вводимый на стадии синтеза полиамида-6 сополимерный ПАН-ТЖ оказывает влияние на формирование кристаллической структуры

получаемого твердофазного раствора, проявляющееся в значительном уменьшении размеров его кристаллитов.

Список литературы

1. Пат. 2816547 Российская Федерация, МПК С 08 G 69/16, С 08 F 2/44 Способ получения наполненного полиамида волокнистыми отходами : № 2023101785; заявл. 26 января 2023 г.; опубл.01.04.2024/ Волкова Е.С., Борисова Н.В., Устинова Т.П., Моругова О.А.; заявитель СГТУ имени Гагарина Ю.А. – 6 с.
2. **Волкова, Е. С.** Особенности энергоресурсоэффективной технологии волокнонаполненных полиамидных композитов /Волкова Е.С., Борисова Н.В., Устинова Т.П. // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS "EESTE-2021) : сб. научн. трудов Междунар. научн.-техн. симп., посвященного 110-летию А.Н. Плановского: Т. 2. – Москва : ФГБОУ ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", 2021. - С. 138-141.
3. Волокна из синтетических полимеров / под ред. Р.М. Хилла. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. – 505 с.
4. **Вундерлих, Б.** Физика макромолекул. Кристаллическая структура, морфология, дефекты: Пер. с англ. Ю.К. Городовского и В.С. Папкова. – М.: Мир, 1976. – 620 с.

Воробьев А.П., Кайдалов И.В., Кошелев И.А., Кулакова В.Н., Лебедев К.М., Семисалов Ал.Д., Семисалов Ан.Д., Судницын М.А., Чесноков Н.А.

СПб ГБОУ «Лицей № 280 им. М.Ю. Лермонтова»

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ПОЧВЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ

В настоящее время активно изучаются системы выращивания растений без использования естественной почвы. В условиях высокой антропогенной нагрузки на почвы (загрязнение тяжелыми металлами, минеральными удобрениями), а также в связи с активным развитием длительных экстремальных экспедиций (арктические, космические исследования), создание эффективных систем выращивания растений становится все более актуальной задачей. Одним из способов решения данной проблемы является использование искусственных субстратов на основе волокнистых материалов. Такие почвы позволяют создать среду с высокой воздухопроницаемостью, а также способностью удерживать влагу и минеральные вещества, необходимые для жизнедеятельности растений.

Однако разные виды растений могут по-разному реагировать на замену естественной почвы. В связи с этим целью настоящего исследования стало изучение влияния искусственной почвы на основе опилок с полимерной матрицей на основе вспененного поливинилформала на рост и развитие разных видов растений.

В рамках исследования были выбраны следующие растения: горох посевной (*Pisum sativum*), огурец (*Cucumis sativus*), микрозелень – свёкла столовая (*Beta vulgaris*) и салат посевной (*Lactuca sativa*), и оценена способность к росту и развитию для каждого из видов. Выбранные нами виды растений контрастны по размеру и плотности семян, а также по длительности жизненного цикла. Все растения выращивались в условиях фитотрона на базе биологической лаборатории лицея (температура 23 – 25 °С, световой режим 16 часов – день и 8 часов – ночь, относительная влажность 75 %), полив осуществлялся раствором для гидропонных культур с фиксированной концентрацией минеральных солей и гумусовых веществ. Перед посадкой семян делались небольшие углубления в субстрате.

Нами было выявлено, что наилучший рост и развитие наблюдались у всех растений гороха: они не только сформировали полноценную вегетативную массу, но и активно цвели и завязывали семена. Растения огурца и микрозелени проросли, но их вегетативная масса и темпы роста оказались существенно ниже, а дальнейшее развитие замедлилось на ранних этапах. Вероятно, для мелкосемянных культур требуется дополнительная оптимизация плотности и влагоемкости субстрата, что мы продолжим изучать в наших дальнейших исследованиях.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает, что эффективность применения искусственной почвы зависит от биологических особенностей выращиваемой культуры. Полученные нами данные будут способствовать выбору наиболее адаптивных растений для современного растениеводства и городского озеленения при использовании искусственной почвы.

Благодарности: авторы благодарят коллег кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А. И. Меоса Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна за предоставленные образцы искусственного субстрата.

Руководитель: Ефремова Е.П., м.н.с. кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ, учитель биологии и педагог дополнительного образования СПб ГБОУ «Лицей № 280 им. М.Ю. Лермонтова»

Воронина Н.А., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ НА СМАЧИВАЕМОСТЬ СВМПЭ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «СИДЯЧЕЙ» КАПЛИ

Ранее проведенные исследования [1] показали, что с помощью ультрафиолетового (УФ) излучения можно эффективно модифицировать поверхность сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых (СВМПЭ) волокон, улучшая их смачиваемость полимерными связующими. Однако, выявленная продолжительность УФ обработки, равная 30 минутам, является неприемлемой для использования в условиях непрерывного производства из-за своей чрезмерной длительности.

Согласно данным из ряда литературных источниках известно, что на эффективность модификации поверхности СВМПЭ волокон с помощью УФ обработки влияют различные факторы, к примеру, мощность потока УФ излучения, расстояние между источником УФ излучения и объектом, а также длина волны УФ излучения [2].

В связи с этим, было решено выяснить, как влияет мощность УФ излучения на смачиваемость СВМПЭ волокон. Смачиваемость оценивали по тому, как меняется краевой угол смачивания.

Растекания капель на исходных волокнах СВМПЭ обнаружено не было: значение краевого угла смачивания составило 80° , что свидетельствует о гидрофобности поверхности. В то же время на модифицированных образцах капли связующего растекались, образуя на поверхности волокон пленку.

Так у обработанных СВМПЭ волокон при мощности УФ излучения 15 Вт, краевой угол смачивания уменьшился на 57 %, при мощности 25 Вт на 71 %, а при мощности 40 Вт на 82 % по сравнению с исходным СВМПЭ волокном.

Установлено, что повышение мощности УФ излучения приводит к более выраженному уменьшению краевого угла смачивания, что указывает на существенное улучшение растекаемости капель термореактивного полимерного связующего по поверхности волокон СВМПЭ. Следствием этого является более глубокая пропитка армирующего волокнистого наполнителя связующим на этапе изготовления композитов. Данный фактор имеет важное значение для обеспечения необходимых физико-механических характеристик готового изделия.

Список литературы

1. **Воронина, Н. А.** Модификация СВМПЭ волокон с целью улучшения адгезионных свойств /Н.А. Воронина, О.И. Гладунова // Композитный мир. — 2025. — № 2 (111). — С. 42–43.
2. **Харченко, Е. Ф.** Проблемы получения органопластиков на основе высокоориентированных полиэтиленовых волокон / Е. Ф. Харченко // Химические волокна. – 1990. – №4. – С. 36–39.

Воронина Н.А., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ В ТКАНИ ИЗ СВМПЭ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ

В работе [1] ранее было показано, что УФ обработка позволяет эффективно модифицировать поверхность сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых (СВМПЭ) волокон, повышая их смачиваемость полимерным связующим. Однако при этом наблюдалось снижение прочности модифицированных волокон на 6–8% относительно исходных образцов.

Согласно литературным данным [2], фотодеструкционные процессы под действием УФ излучения характеризуются ограниченной глубиной проникновения, затрагивая лишь поверхностные слои филаментов в диапазоне 16 – 43 нм.

С учетом этого была поставлена задача оценить глубину проникновения УФ излучения в поверхностные слои СВМПЭ волокон.

В работе использовали СВМПЭ ткани полотняного переплетения. На образцы воздействовали УФ излучением на протяжении 30 минут, причём обработке подвергалась лишь одна сторона каждого образца. Далее проводили измерение краевого угла смачивания полимерным связующим с обеих сторон ткани: со стороны облучения и с противоположной, не подвергавшейся воздействию.

На облученной стороне ткани зафиксировано растекание капель с образованием однородного слоя, причем краевой угол смачивания снизился на 62 % относительно исходного значения. Необлученная сторона сохранила гидрофобные свойства и характер смачивания, идентичный исходным образцам.

Полученные результаты подтверждают, что УФ обработка вызывает значительные изменения поверхностных свойств СВМПЭ волокон и имеет ограниченную глубину проникновения. Уменьшение краевого угла на облученной стороне свидетельствует о росте гидрофильности, тогда как необлученная сторона сохраняет исходные характеристики.

Таким образом, односторонняя поверхностная модификация позволяет направленно улучшать адгезионное взаимодействие СВМПЭ волокон с полимерным связующим при сохранении структуры полимера, что особенно важно при использовании таких волокон в качестве армирующего наполнителя в полимерных композиционных материалах.

Список литературы

1. **Воронина, Н. А.** Модификация СВМПЭ волокон с целью улучшения адгезионных свойств /Н.А. Воронина, О.И. Гладунова // Композитный мир. — 2025. — № 2 (111). — С. 42–43.
2. **Гришанова, И. А.** Влияние ультрафиолетового излучения на поверхностные свойства модифицированных сверхмодульных полиэтиленовых волокон / И. А. Гришанова, И. Ш. Абдуллин, Л. Н. Абуталипова, О. С. Мигачева // Вестник технологического университета. – 2013. – № 2 (16) – С. 102–104.

Гавриленко М.А., Усс Е.П.

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ВЯЗКОСТЬ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С КОМБИНАЦИЯМИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Введение новых ингредиентов в эластомерные композиции может оказывать существенное влияние на их пластоэластические свойства. Вязкость по Муни резиновых смесей является одним из важнейших показателей технологических свойств, позволяющих оценить их способность к переработке. Вязкость является мерой усилия, которое необходимо приложить к материалу для осуществления его течения с заданной скоростью [1].

Целью работы являлось исследование влияния дозировки наноразмерного кремнезема на вязкость наполненных эластомерных композиций на основе двойных и тройных комбинаций каучуков общего назначения.

Исследуемые эластомерные композиции предназначались для изготовления различных деталей шин и содержали в своем составе два типа

усиливающих наполнителей – технический углерод марки N339 и кремнекислотный наполнитель марки ZJ-2115MP в различных количественных соотношениях с преобладающим содержанием последнего. В работе использовался нанопорошок кремнезема на основе гидротермальных растворов производства ООО НПФ «Наносилика» (г. Петропавловск-Камчатский, Россия). Нанопорошок вводили в резиновые смеси в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100,00 мас. ч. каучука. Образцом сравнения являлись наполненные композиции, не содержащие нанодобавку.

Вязкость по Муни эластомерных композиций определяли на ротационном вискозиметре в соответствии с ГОСТ Р 54552-2011 [2].

Результаты проведенных исследований показали, что применение наноразмерного кремнезема приводит к уменьшению показателя вязкости наполненных резиновых смесей на основе двойной и тройной комбинаций каучуков общего назначения на 5,3 и 6,6 % соответственно. Установлено, что с увеличением содержания нанодобавки от 0,1 до 0,2 мас. ч. вязкость по Муни всех исследуемых эластомерных композиций снижается. Следовательно, введение нанокремнезема в композиции с комбинацией усиливающих наполнителей приводит к облегчению течения полимерных цепей в направлении сдвиговой деформации. Такой характер изменения вязкости по Муни резиновых смесей, содержащих кремнекислотный наполнитель и технический углерод, при введении наноразмерного кремнезема может быть обусловлен влиянием нанодобавки на диспергирование наполнителей в объеме эластомерной матрицы, а следовательно, и на взаимодействие в системах «полимер – наполнитель» и «наполнитель – наполнитель».

Работа выполнялась по заданию Государственной программы научных исследований «Современное материаловедение, перспективные материалы и новые технологии», подпрограммы «Порошковые и композиционные материалы».

Список литературы

1. Технология эластомерных материалов : учебник для вузов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : НПША «Истек», 2009. – 500 с.
2. **ГОСТ Р 54552-2011.** Каучуки и резиновые смеси. Определение вязкости, релаксации напряжения и характеристик подвулканизации с использованием вискозиметра Муни : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2011 г. N 636-ст. : введен впервые : дата введения 2013-07-01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским центром стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИЦСМВ). – Москва : Стандартинформ, 2013.

Галушка С.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ПРИМЕНИМОСТЬ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ КАРБОНИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФТАЛОНИТРИЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) относятся к числу наиболее термостойких конструкционных материалов, применяемых в условиях экстремальных температур, недоступных для полимерных композиционных материалов (ПКМ). Их структура представляет собой армированную углеродными волокнами углеродную матрицу, что обеспечивает сочетание малой плотности, высокой удельной прочности, устойчивости к термоудару и низкого коэффициента термического расширения. Благодаря этим свойствам УУКМ широко используются в аэрокосмической технике, включая узлы, испытывающие интенсивные тепловые нагрузки [1-2].

Технологически удобным является получение УУКМ без использования пеков (требующих для своего использования высоких давления и температуры) жидкофазным методом путём пропитки углеродсодержащим прекурсором, претерпевающим в дальнейшем пиролиз (карбонизацию), в результате чего достигается приемлемая скорость получения изделия. Таким образом, получению УУКМ предшествует получение ПКМ. К полимерным связующим предъявляются следующие требования: высокий выход углерода (коксовый остаток), минимальную усадку и пористость [1]. При термическом разложении органической матрицы формируется развитая пористость, что требует многократного повторения циклов «пропитка–пиролиз» для достижения необходимой плотности. Этот подход является крайне трудоёмким и продолжительным: длительность одного цикла может достигать нескольких суток [3].

В этом контексте особый интерес представляют фталонитрильные связующие, обладающие высоким коксовым остатком ввиду формирования целиком ароматической трёхмерной сетки полимера [4]. Использование таких матриц потенциально позволяет сократить число технологических циклов и повысить эффективность процесса формирования углеродной матрицы.

Настоящая работа посвящена оценке возможности существенного сокращения времени карбонизации ПКМ на основе фталонитрильных связующих. В качестве альтернативы традиционному длительному режиму карбонизации рассматривались ускоренные методы нагрева: индукционный нагрев и нагрев в муфельной печи.

Экспериментальная часть включала варьирование мономерного состава исходных композитов и параметров их постотверждения, а также анализ влияния режимов термообработки на ключевые характеристики конечных материалов. Так, оценивались плотность, открытая пористость и механические свойства полученных УУКМ. Для исследования микроструктуры и химического состава использовались элементный анализ, сканирующая электронная микроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния.

Полученные результаты демонстрируют, что переход к ускоренной карбонизации ПКМ позволяет уменьшить продолжительность процесса с десятков часов до 15 минут без существенной деградации физико-механических свойств материала. Это указывает на высокий потенциал применения индукционного нагрева для получения УУКМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания АААА-А21-121011590086-0 Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы

1. **Windhorst T., Blount G.** Carbon-carbon composites: a summary of recent developments and applications // Mater. Des. 1997. Vol. 18, Is. 1. Pp. 11–15. DOI:10.1016/S0261-3069(97)00024-1.
2. **Savage, G.** Applications of Carbon-carbon Composites // Carbon-Carbon Composites / ed. Savage G. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. P. 323–359. DOI:10.1007/978-94-011-1586-5_8.
3. **Schmidt, D. L.** Carbon-carbon composites (CCC) - a historical perspective: Technical Report UDR-TR-96-94. Dayton: University of Dayton Research Institute, 1996.
4. **Bulgakov, B. A., Schubert, U. S.** Recent Advances and Prospects in High-Performance Bio-Based Phthalonitrile Resins // Adv. Funct. Mater. 2024. Vol. 34, № 51. P. 2410071. DOI:10.1002/adfm.202410071.

Григорьев Р.Р., Ерлыгина М.А., Ившин С.С.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКОВОГО
РЕГЕНЕРАТА**

В последнее время все больше внимания уделяется вопросу создания технологий замкнутого цикла производства композиционных материалов.

Однако использование термореактивных связующих усложняет решение поставленной задачи.

Ранее проводимые исследования [1-4] показывают потенциальную возможность вторичной переработки волокнистых композиционных материалов на термореактивной матрице методом механоактивации.

В данной работе рассматривалась возможность применения механоактивированных продуктов вторичной переработки стеклопластиков на примере стеклопластиковой арматуры типа АСК (ГОСТ 31938 — 2012) производства ООО «ЭТИЗ Композит» г. Углич. Образцы подвергали двухэтапному воздействию: дробление с последующим принудительным протиранием через сито с ячейками от 0,25 мм до 2 мм.

Анализ полученных ИК-фурье спектрограмм свидетельствует о наличии несвязанных гидроксильных и аминных групп, а также метиленовых и карбонильных функциональных групп, что свидетельствует о потенциальной реакционной способности полученного рециклата и возможности его повторного применения в качестве армирующего компонента.

Регенерат в количестве 10% вводили в эпоксидную смолу отвержденную полиэтиленполиамином в соотношении 10:1. При этом отдельно рассматривалось влияние исходного регенерата и его фракций: термореактивного связующего и измельченного стеклянного волокна. Из полученных смесей методом свободного литья изготовлены цилиндрические образцы диаметром 17 мм и подвергнуты испытанию на сжатие. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты физико-механических испытаний

Наполнитель	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа	Относительная деформация, %
Без наполнения	65,71	908,13	8,69
Вторичный продукт	75,05	1273,39	12,12
Сепарированное термореактивное связующее	63,37	938,00	7,65
Сепарированный волокнистый наполнитель	106,76	1162,86	10,73

Полученные результаты показывают, что введение добавки механоактивированного продукта вторичной переработки стеклопластика позволяет увеличить прочность эпоксидного связующего на 14 %, образуя внутренний несущий каркас, что выражается в увеличении модуля упругости в 1,4 раза. При этом введение фракции термореактивного связующего не оказывает влияния на характеристики эпоксидного связующего, что говорит

о главенствующем влиянии волокнистой составляющей. Сепарация волокнистого наполнителя позволяет увеличить прочность эпоксидного связующего в 1,6 раза и в 1,4 раза в сравнении с образцами, содержащими регенерат в исходном виде.

Таким образом исследование показывает принципиальную возможность создания технологии производства стеклопластиковых изделий замкнутого цикла, а также получения нового армирующего волокнистого материала для создания новых стеклопластиковых изделий.

Список литературы

1. **Ившин, С. С., Ившина, А. А., Федоров, А. В., Зарипова, Д. Н.** Утилизация стеклопластиков на основе фенолформальдегидной смолы / Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2023. – т.66, в.9.– с.104–109.
2. **Ившин, С. С., Ившина, А. А., Зарипова, Д. Н., Рахимов, А. Р.** Оценка возможности применения метода механо-активации для переработки волокнистых композитов на основе эпоксидных смол / Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2023): I Всероссийская конференция с международным участием, Казань, 30 марта – 01 2023 года. 2023 – с.31–32.
3. **Ившин, С. С., Ившина, А. А., Зарипова, Д. Н., Рахимов, А. Р.** Пресс-материал на основе вторично переработанного АГ-4В / Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2023): I Всероссийская конференция с международным участием, Казань, 30 марта – 01 2023 года. 2023. – с.119–120.
4. **Рахимов, А. Р., Ерлыгина, М. А., Ившин, С. С.** Применение метода механоактивации для вторичной переработки стеклопластиков//Актуальные вопросы современного материаловедения: Материалы XII Международной молодежной научно-практической конференции (г. Уфа, 18–19 июня 2025 г.) / отв. ред. А.А. Мухамедзянова / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2025. - С. 91–92.

Григорьева П.А., Ширин О.И., Липин В.А.

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНО- И МУЛЬТИФЕРМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ В ОТБЕЛКЕ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Применение ферментных технологий в производстве блененой сульфатной целлюлозы является эффективным инструментом снижения расхода отбеливающих агентов и улучшения качества готового продукта. Сами ферменты являются безопасными для окружающей среды, что позволяет сделать производство более экологически чистым. Традиционно в схемах отбеливания используется ксиланаза, воздействующая на ксилан, являющийся основным структурным звеном гемицеллюлозы. В то же время, присутствие в целлюлозной массе экстрактивных веществ (смола и жиров) и остаточного крахмала (в случае переработки макулатуры) может нивелировать эффект ксиланазной обработки из-за гидрофобизации поверхности волокна. В связи с этим актуальным является исследование комплексного воздействия ферментов с различной субстратной специфичностью на целлюлозу в процессе отбеливания [1-4].

В данной работе исследования проводили на образцах неблененой и частично блененой сульфатной целлюлозы хвойных пород. Исследовали влияние обработки целлюлозы ксиланазой, липазой и амилазой, а также смесями данных ферментов, на физико-химические параметры целлюлозы после отбеливания. После ферментативной обработки целлюлоза подвергалась обработке раствором диоксида хлора. Эффективность отбеливания оценивали по комплексу физико-химических характеристик: изменению числа Каппа, изменению содержания α -целлюлозы и степени полимеризации.

Из полученных данных следует, что мультиферментная обработка сульфатной целлюлозы перед последней стадией отбеливания, например, диоксидом хлора (D), имеет целый ряд преимуществ по совокупности механических и химических свойств конечного продукта по сравнению с традиционными технологиями, в том числе улучшает показатель, характеризующийся числом Каппа, и стабилизирует вязкость целлюлозы.

Список литературы

1. **Одинцова, С. Е.** Ферментные технологии как "зелёные" технологии в целлюлозно-бумажной промышленности / С.Е. Одинцова, А.Ю. Светлолобов, В.А. Липин, М.Н. Тараченкова // XIII Конгресс молодых ученых: сб. материалов тезисов Инженерия. Искусственный интеллект. Хемоинформатика и химическая инженерия (Санкт-Петербург, 8-11 апреля 2024 г.) / Университет ИТМО. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 324-325. EDN LAKOGB
2. **Одинцова, С. Е.** Исследование влияния фермента ксиланазы в предварительной обработке целлюлозы / С.Е. Одинцова, А.Ю. Светлолобов, М.Н. Тараченкова, В.А. Липин // V Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 190-летию Д.И. Менделеева: сб. материалов тезисов Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности. (Санкт-Петербург,

11-12 апреля 2024 г.) / ВШТЭ СПбГУПТД. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 102-103. EDN: DXSMSS

3. **Светлолобов, А. Ю.** Исследование оптимальных условий предварительной обработки целлюлозы ферментом амилаза / А.Ю. Светлолобов, С.Е. Одинцова, М.Н. Тараченкова, И.А. Федоскин, В.А. Липин // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных Ломоносов-2023: сб. материалов тезисов международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. (Москва, 10-21 апреля 2023 г.) / МГУ. – Москва, 2023. – С. 1103. EDN: TSFKMY

4. **Одинцова, С. Е.** Модернизация предварительной обработки целлюлозы ферментом липаза / С.Е. Одинцова, А.Ю. Светлолобов, М.Н. Тараченкова, И.А. Федоскин, В.А. Липин // III Международная научная конференция Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах: сб. материалов тезисов докладов III Международной научной конференции. (Санкт-Петербург, 21–23 ноября 2022 г.) / СПбГУПТД. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 102–103. EDN: MRYGJO

Гришина В.Ю., Петрова Л.С., Малыгина А.А., Одинцова О.И.

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССАХ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Уникальные свойства наночастиц привлекают исследователей во всем мире. Для антибактериальной отделки текстильных материалов применяют наночастицы серебра, с целью придания УФ-защитных свойств используют наночастицы оксида цинка, снижение статического электричества на тканях можно добиться при отделке оксидом графена, придание целлюлозным тканям технического назначения противогрибковых и противогнилостных свойств осуществляется посредством обработки наночастицами меди [1].

Цель настоящего исследования состояла в разработке композиций на основе наночастиц для придания текстильным материалам функциональных свойств при минимизации концентраций используемых препаратов.

Подобраны восстановитель и стабилизатор, обеспечивающие синтез наночастиц серебра размером от 2 до 8 нанометров. Оптимизированы температурно-временные условия синтеза Ag NPs. Разработана методика заключения в оболочку водорастворимых антибактериальных агентов. В качестве таких препаратов использованы вытяжка из мицелия грибов Вёшенка, пептиды P9 (NGAICWGPCPTAFRQIGNCGHFKVRCCKIR), Mutant mucroporin-M1 (LFRLIKSLIKRLVSAFK), RBD-11b (YKYRYL).

Данные пептиды обладают вирулицидной активностью по отношению к SARS-CoV-2 (2019-nCoV) [2].

Получен состав на основе наночастиц серебра и белка шелка – серицина [3]. С применением метода спектрофотометрии доказана возможность восстановления наночастиц серебра в присутствии серицина шелка. Подобраны оптимальные температурно-временные параметры процесса восстановления нитрата серебра. Оценено влияние отделки наночастицами серебра на прочностные показатели ткани. Показано, что минимальные потери прочности достигаются у образцов, обработанных растворами, восстановленными при температуре с концентрацией серебра 0,51 г/л.

С применением метода дисков выявлена высокая антибактериальная активность образцов, обработанных составом на основе наночастиц серебра и серицина шелка. Наибольшая зона задержки грамположительных и грамотрицательных групп бактерий составила до 4 мм.

Список литературы

1. **Одинцова, О. И.** Отделка текстильных материалов микрокапсулами и наночастицами функциональных веществ / О.И. Одинцова, Е.Л. Владимирцева, О.В. Козлова, С.В. Смирнова, А.А. Липина, Л.С. Петрова, К.А. Ерзунов, З.А. Константинова, А.Р. Зимнуров, Ф.А. Быков, А.Г. Мельников // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – Т. 66. – Вып. 7. – С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
2. **Липина, А. А.** Микрокапсулирование активных фрагментов биополимеров, содержащих дипептиды Тур-Про-гидрохлорид / А.А. Липина, Л.С. Петрова, О.И. Одинцова, О.В. Козлова, Е.Л. Владимирцева, С.В. Смирнова, М.Д. Ильичева // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2022. – Т. 65. – Вып. 6. – С. 97–104.
3. **Петрушина, В. Ю.** Применение серицина в процессе капсулирования биологически активных веществ / В.Ю. Петрушина, А.Д. Шоева, К.А. Ерзунов, З.А. Яминзода, А.А. Малыгина, О.И. Одинцова // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва). – 2025. – Т. LXIX. – № 4. – С. 59–63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2026-0004

Гурьянова Е.А., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВ И ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ИХ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА

Добавление графенов в эпоксидную смолу оказывает значительное влияние на ее свойства, модифицируя их и расширяя возможности применения. Это влияние зависит от концентрации графена, его качества, способа диспергирования в смоле и типа самой эпоксидной смолы.

Введение графенов оказывает влияние на механические, тепловые, электрические, барьерные и другие свойства композиционных материалов.

В области механических свойств следует ожидать:

– повышение прочности на растяжение и изгиб: графены, благодаря своей высокой прочности, значительно увеличивают прочность эпоксидной смолы. Они выступают как армирующий наполнитель, передавая нагрузку и предотвращая образование и распространение трещин;

– увеличение модуля упругости (жесткости): графены придают композиту большую жесткость, делая его более устойчивым к деформации под нагрузкой;

– улучшение ударной вязкости: хотя графены могут увеличивать жесткость, при правильном диспергировании они также способствуют рассеиванию энергии при ударе, улучшая ударную вязкость;

– повышение стойкости к усталости: графены могут замедлять рост трещин при циклических нагрузках, увеличивая срок службы материала [1].

В области тепловых свойств следует ожидать:

– повышение теплопроводности: графены обладают очень высокой теплопроводностью. Добавление даже небольшого количества графенов значительно увеличивает теплопроводность эпоксидной смолы. Это важно для применений, где требуется отвод тепла, например, в электронике;

– увеличение термостойкости: графены могут повысить температуру стеклования эпоксидной смолы, что делает ее более устойчивой к высоким температурам.

В области электрических свойств следует ожидать:

– повышение электропроводности: графены являются отличным проводником электричества. Добавление графенов в эпоксидную смолу могут сделать ее проводящей, что полезно для создания проводящих покрытий, антистатических материалов и электромагнитных экранов [2].

Кроме того, графены создают барьер для проникновения газов и жидкостей, что делает эпоксидную смолу более устойчивой к воздействию

окружающей среды. Это важно для применений, где требуется защита от коррозии или влаги. Присутствие графенов может привести к уменьшению усадки при отверждении, улучшению адгезии эпоксидной смолы к различным поверхностям. Некоторые исследователи показывают, что графены могут придавать эпоксидной смоле антибактериальные свойства.

Для достижения этих важных свойств при формовании композитов необходимо учитывать факторы, влияющие на ожидаемый эффект добавления графена:

- концентрация графена: слишком низкая концентрация может не дать существенного эффекта, а слишком высокая может привести к агломерации (слипанию) графена и ухудшению свойств;

- качество графена: качество графена (размер частиц, чистота, количество дефектов) оказывает большое влияние на его эффективность;

- диспергирование: равномерное диспергирование графенов в эпоксидной смоле является критически важным. Агломерация графена может привести к ухудшению свойств композита. Для диспергирования используют ультразвуковую обработку, перемешивание и добавление специальных диспергаторов;

- тип эпоксидной смолы: влияние графенов может зависеть от типа используемой эпоксидной смолы и ее характеристик.

Улучшенные свойства эпоксидных смол, модифицированных графеном, делают их востребованными в различных областях:

- аэрокосмическая промышленность: композиционные материалы с улучшенными механическими свойствами для изготовления деталей самолетов и космических аппаратов;

- автомобильная промышленность: легкие и прочные материалы для кузовов и деталей автомобилей;

- электроника: теплопроводящие материалы для отвода тепла от электронных компонентов, проводящие покрытия для электромагнитной защиты;

- строительство: прочные и долговечные покрытия для защиты от коррозии и воздействия окружающей среды;

- спорт: легкий и прочный спортивный инвентарь [3].

Добавление графена в эпоксидную смолу – это перспективный способ улучшения ее свойств и расширения области применения. Однако для достижения наилучших результатов необходимо тщательно контролировать концентрацию графена, его качество и способ диспергирования. Правильно модифицированная эпоксидная смола с графеном может обладать превосходными механическими, тепловыми, электрическими и барьерными свойствами, что делает ее востребованной в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Губин, С. П. Графен и материалы на его основе / Губин С. П., Ткачев С. В. // Институт общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН. – Москва, 2010. – Т. 2, № 1–2. – С. 100–105.
2. Дмитриев, А. С. Теплофизические проблемы наноэнергетики. Теплоэнергетика. / Дмитриев, А. С. // Издательство МЭИ. – 2010. – Т. 57, № 12, – С. 13–22.
3. Дмитриев, А. С. Энергобудущее. Перспективные технологии. Хрестоматия. / Дмитриев, А. С. // Издательство МЭИ. – 2018. – С. 87.

Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОКИСЛЕННЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ФОРМ ГРАФЕНОВ

Для придания полимерным композиционным материалам специфических свойств, таких как повышенная электропроводность, теплопроводность, механическая прочность и др. все чаще используют различные наноструктурные добавки. Среди большого количества нанодобавок особое место занимают графены в силу разнообразия его форм: графены могут быть в восстановленной или окисленной форме (оксиды графена). Окисленный графен содержит гидроксильные, эпоксидные, карбоксильные группы и т.д. Не существует однозначной модели описания точной структуры оксида графена, в целом считается, что карбонильные группы с основным расположением на краях, а остальные функциональные группы присутствуют и в базальных плоскостях графеновых слоев. Наличие такого разнообразия групп дает возможность путем различных химических или физических превращений модифицировать графены и направленно изменять их свойства. Свойства окисленного и восстановленного графена существенно отличаются. Окисление превращает инертный и гидрофобный графен в химически активный материал. Для восстановленного графена характерно уменьшение электрического сопротивления, снижение толщины пленок за счет потери функциональных групп.

В данной работе методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JSM 6390 фирмы JEOL (Япония) исследовали морфологию поверхности исходных графенов (без дополнительной модификации), окисленной и восстановленной форм. Использовали

графены следующих марок: С-1100 и С1000 фирмы изготовителя «Графен Лайф» и RG-T1, RG-S1 фирмы изготовителя «РУСГРАФЕН»

Перевод графенов в окисленную форму осуществляли пропиткой в концентрированной азотной кислоте с выдержкой в течении 180 минут и последующей отмывкой дистиллированной водой до рН 6,2 – 6,5. Для получения восстановленной формы графенов проводили их термообработку при температуре 800 °С в течение 60 минут в инертной среде с последующим охлаждением в эксикаторе.

Анализ фотографий СЭМ показывает, что исходный графен марки RG-T1 состоит из тонких пластин с неровными краями, наблюдаются изломы и расслоения. Размер пластин находится в диапазоне 100 мкм - 100 нм. На поверхности пластин наблюдаются складки, локальные изгибы. Графены марки RG-S1 внешне схожи с графенами марки RG-T1, имеют слоистую структуру и различные дефекты. При увеличении в 30000 раз удалось определить толщину пластин графена марки RG-S1, которая составляет 70 – 80 нм и расстояние между пластинами 170 – 210 нм. Графены марок С-1000 и С-1100 имеют деформированную поверхность и большое количество «чешуек». При увеличении 12000 раз удалось измерить расстояние между пластинами, которое составило 190 – 300 нм.

После окисления графена марки RG-T1 поверхность пластин становится более шероховатой, «измятой» и гофрированной. Структура пластины выглядит менее плотной и «пушистой». На поверхности отчетливо видны многочисленные светлые объекты шаровидной или полусферической формы. Края пластин стали более рваными, нечеткими и фрагментированными.

Восстановление графенов марки RG-T1 приводит к изменению краевой морфологии – края становятся более четкими и менее фрагментированными, наблюдается «залечивание» краевых дефектов. Визуально упаковка слоев более плотная, чем после окисления и для исходных графенов. Удаляются многочисленные шаровидные включения.

Таким образом показано, что процессы окисления и восстановления существенно влияют на морфологию поверхности графенов. Если окисление способствует разрыхлению, «распушению» структуры графеновых пластин, то восстановление – к уплотнению графеновых слоев.

Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ОКИСЛЕННЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ФОРМ ГРАФЕНОВ

Введение в полимерную матрицу дисперсных частиц, в частности нанодисперсий, дает возможность получать композиты с целым комплексом новых свойств. Однако прогнозирование свойств дисперсно-наполненных композиционных материалов является весьма сложной задачей, так как они определяются, с одной стороны, свойствами дисперсных частиц (форма, размеры, природа и т.д.), а, с другой стороны, свойствами полимерной матрицы. Немаловажное значение имеют также свойства и показатели границы раздела фаз наполнителя и матрицы.

Одним из перспективных дисперсных нано наполнителей является графен. В зависимости от формы графена (окисленная или восстановленная) его свойства существенно различаются. В работе исследовали некоторые свойства исходных, окисленных и восстановленных графенов следующих марок: С-1100 и С1000 фирмы изготовителя «Графен Лайф» и RG-T1, RG-S1 фирмы изготовителя «РУСГРАФЕН»

Показано, что проведение окисления в азотной кислоте приводит к увеличению влажности. Для исходных графенов влажность С-1100 – 0,13 %, С-1000 – 1,44 %, а для RG-T1 и RG-S1 – 0,12 и 1,27 % соответственно. После окисления влажность составила 0,87 и 3,98 % для графенов С-1100 и С-1000 соответственно, 4,69 и 5,96 % для графенов RG-T1 и RG-S1 соответственно, что вполне закономерно, так как в процессе окисления происходит образование различных кислород содержащих групп, являющихся по своей природе гидрофильными.

Удельное объемное электрическое сопротивление после окисления увеличивается существенно для графенов марки RG-S1 от 5,84 Ом·см до 190,36 Ом·см, а для графенов марки RG-T1 от 3,62 Ом·см до 27,06 Ом·см. Меньше всего удельное объёмное сопротивление изменилось для графенов С-1100 и С-1000. Для С-1100 увеличилось от 1,27 Ом·см до 1,79 Ом·см, это может быть связано с тем, что изготовитель заявил исходные графены марки С-1100 как оксид восстановленный, таким образом дополнительное окисление не привело к значительному изменению удельного объемного сопротивления. Для графенов С-1000 после воздействия азотной кислотой удельное объемное сопротивление возросло до 7,40 Ом·см от 2,39 Ом·см. Окисляемость напрямую связана с созданием композитов, так как

окисленный графен легче диспергируется в растворителях, в отличие от чистого графена.

После термообработки при температуре 800 °С в инертной среде графен переходит в восстановленную форму и наблюдается изменение некоторых физико-химических свойств графенов по сравнению с исходными образцами. Неожиданным эффектом стало заметное увеличение влажности для всех марок графенов по сравнению с исходными формами. Например, для графена RG-T1 влажность после восстановления увеличилась до 8,51 % против влажности для исходной формы, которая была 0,12 %. Такое изменение влажности требует, конечно, проведения дополнительных исследований.

Удельное электрическое сопротивление после восстановления заметно уменьшается и составляет 0,06; 0,20; 1,66; 1,66 Ом·см для графенов марок RG-T1, C-1100, C-1000 и RG-S1 соответственно. Уменьшение электрического сопротивления – это эффект удаления кислородсодержащих функциональных групп. Восстановленный графен может найти применения для создания электропроводящих композитов, как носитель катализаторов, однако процесс восстановления приводит к потере диспергируемости, так как становится гидрофобным, что усложняет его применения в процессах создания композиционных материалов.

Таким образом, высокотемпературная обработка в инертной среде сопровождается удалением функциональных групп, приводящим к существенной перестройке электрических свойств.

Полученные результаты свидетельствуют о сложном и неоднозначном влиянии как процесса окисления, так и процесса восстановления на свойства графенов.

Гурьянова Е.А., Саклакова Е.В., Асташкина О.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛИМЕРНЫЙ НАНОКОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И НАНОЧАСТИЦ ГРАФЕНОВ

В отличие от микрокомпозитов, свойства нанокompозитов определяются не только свойствами компонентов, но и колоссальной площадью поверхности раздела фаз. Технологический процесс направлен на достижение гомогенности системы на наноуровне.

Эпоксидные смолы являются наиболее востребованными терморезистивными связующими для высокотехнологичных полимерных композиционных материалов.

Среди достаточного большого разнообразия углеродных наноструктур графены занимают особое место. Графены обладают поистине уникальным и выдающимся набором свойств, которые выделяют их среди всех известных материалов: огромная удельная поверхность, высокая теплопроводность, высокий модуль упругости, превосходная механическая гибкость и химическая стойкость и др.

Для получения нанокомпозитов была разработана технологическая блок-схема, включающая предварительное диспергирование графенов в отвердителе в течение 10 минут. Процесс осуществляли в ультразвуковой ванне. Полученную дисперсию графенов совмещали с эпоксидной смолой и методом свободного литья формовали пластины из эпоксидной смолы с графенами. Размер пластин составлял 30x30x15 мм. Для исследования на первом этапе готовили нанокомпозиты со степенью наполнения графенами 0,1 масс.%. В качестве нанонаполнителя использовали графены марки С1000 фирмы изготовителя «Графен Лайф», а также окисленные и восстановленные графены.

Перевод графенов в окисленную форму осуществляли пропиткой в концентрированной азотной кислоте с выдержкой в течении 180 минут и последующей отмывкой дистиллированной водой до рН 6,2 – 6,5. Для получения восстановленной формы графенов проводили их термообработку при температуре 900 °С в течение 60 минут в инертной среде с последующим охлаждением в эксикаторе.

Для полученных образцов полимерных нанокомпозитов исследовали твердость по Шору и ударную прочность.

Определение ударной прочности композиционных материалов проводили методом падающего груза массой 550 г при высоте падения от 50 до 75 см. После падения груза проверяли целостность образцов. Разрушением считали любой разрыв образца, который можно легко определить на ощупь или визуально при подсветке образца.

Измерение твердости по Шору – это метод оценки сопротивления материала вдавливанию индентора (специального наконечника) под действием силы. Результат выражается в условных единицах от 0 до 100.

Проведенные исследования показали, что введение графенов в эпоксидную смолу не приводит к изменению твердости по Шору, которая лежит в интервале 100 – 99 единиц и для чистой смолы и для смолы, наполненной графенами, а вот ударная прочность существенно увеличивается. Если для образца из чистой эпоксидной смолы она составляла 90 кДж/м³, то для образцов, наполненных не модифицированными графенами ударная прочность составила 317 кДж/м³,

для образцов, содержащих окисленные или восстановленные графены ударная прочность 295 кДж/м³.

Таким образом показано, что введение в эпоксидную смолу графенов в количестве 0,1 масс. % как не модифицированных, так и окисленных или восстановленных приводит к увеличению ударной прочности нанокompозита.

Дворянцев Д.Д., Лишевич И.В., Шарко Е.А.

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И. В. Горынина НИЦ «Курчатовский институт»

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАТРИЦЫ МАРКИ ЭТ-4 И УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ

В работе представлены результаты исследований физико-механических, триботехнических и термических свойств образцов углепластика на основе модифицированного связующего марки ЭТ-4 и углеродной ткани с поверхностной плотностью до 350 г/м², изготовленных методом горячего прессования препрегов при низкотемпературном (НТО) и высокотемпературном (ВТО) режиме переработки. Исследованы физико-механические свойства в части предела прочности при сжатии, изгибающего напряжения при разрушении, разрушении при межслойном сдвиге и ударной вязкости по методу Шарпи. В рамках триботехнических испытаний определены коэффициент трения и величина интенсивности линейного изнашивания при контактных давлениях до 60 МПа при трении образцов в паре со сталью 20Х13 и оксидированным титановым сплавом марки ПТ-3В и смазкой пресной водой.

В результате исследований установлено, что предельная деформация при сжатии образцов разрабатываемого углепластика, переработанного по НТО режиму от 90 до 120 °С увеличилась с 6,51 до 9,04 %. Модуль упругости при этом снизился с 4,27 до 3,60 ГПа в сравнении с углепластиком УГЭТ. Ударная вязкость образцов углепластика с НТО и ВТО режимами переработки увеличилась в 2 раза – 129 и 140 кДж, соответственно, в сравнении с 49 кДж у УГЭТ. При изгибе образцы модифицированного углепластика с НТО и ВТО также имеют большую величину при разрушении – 466 и 450 МПа наряду с 396 МПа с эталоном, однако максимальная

деформация и при этом не отличается. Модуль упругости наоборот, показывает рост с 18,48 до 19,44 ГПа для НТО и ВТО. Прочность при межслойном сдвиге модифицированного углепластика, переработанного по режиму НТО практически не отличается от УГЭТ, а при режиме ВТО наоборот снижается, ввиду увеличения жесткости композита при термическом отжиге при 180 °С.

В результате триботехнических испытаний установлено, что коэффициент трения и величина интенсивности линейного изнашивания образцов при трении в паре со сталью 20Х13, переработанных по НТО режиму при контактном давлении 30 МПа имеют как более низкую интенсивность изнашивания ($I_h = 2,9$ мкм/км), так и коэффициент трения ($f_c = 0,09$) в сравнении с УГЭТ ($I_h = 3,5$ мкм/км, $f_c = 0,12$). При испытаниях с контртелом из оксидированного ПТ-3В рассматривался образец углепластика с ВТО режимом. Отмечается, что модифицированный углепластик в сравнении с УГЭТ также показывает низкую величину интенсивности линейного изнашивания. На графике зависимости коэффициента трения от контактного давления образцы лежат практически на одной кривой.

При исследовании кривых ДСК композитов установлено, что при полимеризации и термообработке связующего марки ЭТ-4 до 120 °С (НТО) в области температур от 160 до 180 °С образуются характерные температуре стеклования перегибы. Далее у всех образцов связующих происходит процесс полной конверсии (рост кривой ДСК) с последующей термической деструкцией после 190–200 °С. При термообработке образцов до 180 °С (ВТО) происходит полное отверждение. В области температур от 180 до 200 °С начинается термическая деструкция матрицы.

Список литературы

1. **Бахарева, В. Е.** Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы. Справочник / Под ред. И. В. Горынина. – СПб.: НПО “Профессионал”, 2014. – С. 79–133.
2. **Дворянцев, Д. Д.** «Исследование физико-механических и триботехнических свойств антифрикционного углепластика на основе модифицированной терморезистивной матрицы» / Д. Д. Дворянцев, И. В. Лишевич, А. С. Савелов, Е. А. Шарко // Вопросы материаловедения, 2024 № 2 (118) DOI: 10.22349/1994-6716-2024-118-2-00-00.
3. Методика экспрессных триботехнических испытаний антифрикционных полимеров / Д. Г. Точильников, Б. М. Гинзбург; Вопросы материаловедения. -2002-№ 3(31). – С. 39–48.
4. **Бахарева, В. Е.** Улучшение функциональных свойств антифрикционных полимерных композитов для узлов трения скольжения / В. Е. Бахарева, Г. И.

Николаев, А. В. Анисимов // Российский химический журнал. – 2009. – Т. 53, №4. – С. 4–18.

Джуама С.И.^{1,2}, Петрова Д.А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Université Mohamed Khider Biskra

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ С НАПОЛНИТЕЛЯМИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Поиск экологически безопасных и устойчивых решений в области создания новых полимерных материалов является одной из актуальных задач современного материаловедения. Особый интерес представляют природные и возобновляемые отходы, которые могут быть использованы в качестве наполнителей и армирующих компонентов полимерных композитов.

В данной работе рассматривается возможность использования растительных отходов, а именно волокон листьев финиковой пальмы (ВЛФП) и кофейного жмыха, в сочетании с эпоксидной смолой в качестве терморезактивной полимерной матрицы. Использование данных наполнителей позволяет не только снизить экологическую нагрузку, но и улучшить эксплуатационные характеристики композитных материалов.

Для получения композитов были изготовлены образцы с массовой долей наполнителей 2,5; 5; 10 и 15 %. Волокна пальмовых листьев подвергались щелочной обработке 6%-ным раствором NaOH, а также модификации с применением силанового связующего агента в количестве 1 % с целью улучшения межфазной адгезии между волокнами и эпоксидной матрицей. Комплексная характеристика полученных материалов включала ИК-Фурье спектроскопию, исследование водопоглощения, механические испытания, динамический механический анализ (ДМА), а также морфологические исследования методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Результаты ИК-Фурье спектроскопии подтвердили успешную химическую модификацию волокон и стабильность структуры эпоксидной матрицы. Установлено, что химически обработанные ВЛФП обладают лучшей адгезией к полимерной матрице и характеризуются пониженным водопоглощением. Механические испытания показали, что оптимальное содержание составляет 10 % волокон листьев финиковой пальмы и 2,5 % кофейного жмыха. Результаты ДМА показали увеличение модуля

упругости для композита с 2,5 % силан-модифицированных волокон, что свидетельствует о росте жесткости материала. Морфологический анализ СЭМ выявил наличие межфазных пустот и слабую адгезию в композитах с высоким содержанием кофейного жмыха, тогда как обработка ВЛФП силаном обеспечивает более однородную структуру композита.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования растительных отходов в качестве функциональных наполнителей эпоксидных композитов и создают основу для дальнейших исследований в области экологически ориентированных полимерных материалов.

Дианкина Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРЕКУРСОРОВ КАК СПОСОБ СОЗДАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Целенаправленная модификация прекурсоров представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в создании углеродных сорбентов нового поколения, позволяющее не только улучшать существующие характеристики материалов, но и придавать им принципиально новые функциональные свойства. Традиционные подходы к получению активированных углеродных материалов основаны на выборе подходящего сырья и условий активации, однако именно модификация прекурсоров открывает путь к тонкому управлению структурой и химией поверхности конечного продукта.

Современные исследования в области активированных углеродных волокон демонстрируют, что эффективность сорбентов может быть значительно повышена за счет модификации как на стадии выбора прекурсора, так и путем целенаправленной обработки поверхности. Как отмечают авторы работ в недавнем обзоре [1], последние научные разработки сфокусированы именно на усилении селективности углеродных материалов по отношению к специфическим загрязнителям через модификацию прекурсоров и поверхности.

Одним из ярких примеров успешной модификации прекурсоров является введение кремнийсодержащих соединений. Согласно патентным данным, обработка углеродного прекурсора или готового сорбента раствором поликарбосилана с последующей карбонизацией позволяет

получать кремнийсодержащие углеродные сорбенты, сочетающие высокую сорбционную активность с повышенной устойчивостью к термоокислению [2]. В экспериментах с нетканым материалом из гидратцеллюлозных волокон добавка поликарбосилана увеличивала выход карбонизованного продукта с 16 до 31 %, при этом температура начала термоокислительной деструкции повышалась с 527 до 545 °С. Полученные материалы содержат на поверхности связи Si-C и Si-O, образующие оксикарбидные структуры, что обеспечивает их устойчивость к окислению при сохранении высокой удельной поверхности и сорбционной активности.

Обзор литературы по функционализированным углеродным материалам подтверждает, что активированные угли могут быть модифицированы как химически, так и физически для повышения их селективности и эффективности. Химическая модификация особенно эффективна для улучшения адсорбции неорганических загрязнителей и ионов металлов, тогда как физическая модификация путем термической обработки позволяет увеличить размер пор и удельную поверхность. Авторы [3] подчеркивают, что высокая стоимость производства активированных углей стимулирует глобальные исследования, направленные на использование дешевых прекурсоров с одновременным повышением эффективности адсорбции.

Таким образом, целенаправленная модификация прекурсоров представляет собой многофакторный процесс, включающий выбор исходного сырья, введение функциональных добавок, контроль температурных режимов термообработки и условий активации. Современные исследования демонстрируют, что именно такой комплексный подход позволяет создавать углеродные сорбенты с заданными характеристиками: повышенной термоокислительной стабильностью, высокой удельной поверхностью, контролируемой пористостью и селективностью по отношению к специфическим загрязнителям.

Нами были проведены работы по модификации полиоксадиазольных волокон техническим углеродом в различных концентрациях с целью получения из них активированных углеродных волокон. Было показано, что введение ТУ в структуру ПОД-волокон позволяет провести их карбонизацию при более мягких условиях. Свойства полученных сорбентов на основе модифицированного ПОД обладали высокими сорбционными характеристиками: объем сорбционного пространства составлял 0,45–0,48 см³/г, адсорбция метиленового голубого достигала 450 мг/г.

Руководитель: и.о. зав. кафедрой НВКМ СПбГУПТД, проф., к.т.н., доц. Асташкина О.В.

Список литературы

1. **Park S., Lee J., Lee S. et al.** Recent advances in activated carbon fibers for pollutant removal // Carbon Letters. – 2025. – Vol. 35, No. 1. – P. 21-44
2. Кремнийсодержащий углеродный сорбент и способ его получения: пат. 2417836 Рос. Федерация. № 2009124543/05; заявл. 29.06.2009; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13. – 12 с.
3. **Lam S.S., Liew R.K., Wong Y.M., Yek P.N.Y., Ma N.L., Lee C.L., Chase H.A.** Developments in activated functionalized carbons and their applications in water decontamination: a review // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Vol. 416. – Article 125851. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.125851.

Дианкина Н.В., Кухаренко А.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ

В ранее проведенных работах была показана возможность получения активированных углеродных волокон из гидратцеллюлозного волокна (ГЦВ), содержащего в своей структуре технический углерод (ТУ). В работах предложена модификация за счет введения в структуру волокна нано- и микродобавок [1, 2] непосредственно в прядильный раствор.

Однако на сегодняшний день производств гидратцеллюлозного волокна на территории стран СНГ не существует и такой способ модификации не является применимым.

Кроме объемной модификации существует еще и другие способы модификации волокон, например – поверхностная модификация путем обработки волокна различными растворами, содержащими добавки. Модификация поверхности ТУ позволяет направленно улучшать функциональные свойства без изменения технологии формования волокна. Данный способ предполагает нанесение дисперсии технического углерода на уже сформированное гидратцеллюлозное волокно с последующей фиксацией частиц на поверхности.

На основе аналитического обзора и проведенных экспериментальных данных была проведена сравнительная характеристика объемной и поверхностной модификации (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов

Параметр	Введение в раствор	Поверхностная обработка
Равномерность распределения	Высокая	Средняя
Изменение технологии формования	Требуется	Не требуется
Стойкость модификации	Высокая	Не выявлено
Влияние на выход углеродного остатка	Повышение	Незначительное

Анализируя данные таблицы преимуществом предлагаемого нами метода является:

- метод не требует изменения технологии получения исходного ГЦВ;
- метод реализуется на стандартном лабораторном оборудовании;
- есть возможность варьировать степень наполнения поверхности;
- метод может быть применим как для нитей, так и для тканей или нетканых материалов.

Список литературы

1. **Марценюк, В. В.** О выходе карбонизованных остатков при глубокой термообработке волокон-композитов, наполненных техническим углеродом / В.В. Марценюк, Н.С. Лукичева, Н.В. Дианкина, Д.А. Петрова, О.В. Асташкина, А.А. Лысенко // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 6 (396). – С. 320–327.
2. **Мухина, О. Ю.** Получение и исследование свойств активированных углеродных волокнистых материалов с различной пористой структурой автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.17.06

Дресвянина Е.Н.^{1,2}, Смотрина Т.В.³ Добровольская И.П.², Юдин В.Е.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Институт высокомолекулярных соединений (Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС)

³Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАН-НАНОФИБРИЛЛЫ ХИТИНА

В последнее время существенно возрос интерес к материалам на основе хитозана, благодаря комплексу его полезных свойств, таких как биоразлагаемость, биосовместимость, низкая токсичность, широкий диапазон биологической активности, ранозаживляющие и кровоостанавливающие свойства [1]. Хитозан легко перерабатывается в волокна, пленки, трехмерные пористые структуры, процесс переработки достаточно прост и технологичен.

Применение материалов на основе хитина и хитозана в косметологии, медицине и биотехнологиях предусматривает их использование в средах с повышенной влажностью и жидких средах. Для успешного внедрения таких материалов необходима информация об их сорбционных характеристиках. Изучению сорбционных свойств хитина и хитозана посвящено достаточно большое количество работ. Однако большинство исследований проводилось на пленочных образцах или порошках. Данное исследование направлено на изучение сорбционных свойств хитозановых волокон, а также композиционных волокон, модифицированных наночастицами хитина (НФХ).

Волокна формовали по мокрому методу из 4%-х растворов полимеров в 2-й уксусной кислоте. Осаждение осуществлялось в спиртово-щелочном осадителе, состоящем из 10%-го раствора NaOH и этанола. Волокна промывали в дистиллированной воде и сушили на воздухе при температуре 60 °C [2,3].

Сорбцию водяного пара измеряли изопиестическим методом, относительную влажность воздуха в эксикаторах создавали насыщенными растворами солей. Перед измерением образцы высушивали при 65 °C до постоянной массы. По полученным результатам величин сорбции построены изотермы, которые успешно описаны уравнениями теоретико-вероятностной модели сорбции (ТВМ) [4] и квазихимической модели сорбционного раствора Лаатикайнена – Линдстрема (КХМ) [5].

Все изотермы имеют вид, типичный для полимерных сорбентов, набухающих в парах сорбата и переходящих в высокоэластическое состояние в области давления водяного пара $P/P_0 > 0,6 \div 0,7$. При этом величина сорбции снижается при увеличении концентрации НФХ в волокне, что связано с повышением их кристалличности, а также ориентацией макромолекул хитозана на поверхности НФХ.

Степень кристалличности хитозановых волокон x_c составляет 24 – 25 %. Концентрация НФХ менее 10 мас. % не приводит к заметному увеличению кристалличности волокна (x_c повышается до 31 %). В то же время, благодаря хорошей совместимости и способности образовывать прочные водородные связи, хитин и хитозан активно взаимодействуют друг с другом в растворе, образуя ориентированные комплексы. Такие структуры ограничивают подвижность макромолекул, препятствуют проникновению

молекул воды, тем самым уменьшая количество сорбированной влаги. С другой стороны, они способствуют ориентации макромолекул хитозана при прохождении раствора через фильеру, а также в осадительной ванне при растяжении струи композиционного раствора, что улучшает процесс мокрого формования и повышает механические характеристики волокна.

Высокое наполнение хитозановой матрицы НФХ (30 – 50 мас. %) повышает кристалличность волокна ($x_c = 35-40\%$) и приводит к формированию жесткой структурной сетки, состоящей из НФХ с ориентированными на их поверхности макромолекулами хитозана. Вследствие этого значительно снижается сорбционная способность и ухудшаются механические характеристики волокна.

Список литературы

1. **Islam, Sh.** Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications in Biomedical Engineering / Sh. Islam, M. A. Rahman Bhuiyan, M. N. Islam // Journal of Polymers and the Environment. – 2017. 25. 2. P. 854 – 866.
2. **Dresvyanina, E.** The molecular mass effect on mechanical properties of chitosan / E. Dresvyanina, A. Yudenko, N. Yevlampieva, E. Maevskaya, V. Yudin, A. Gubarev, M. Slyusarenko, K. Heppe // FIBRES and TEXTILES. – 2018. 25. 2. P. 27–31.
3. **Дресвянина, Е. Н.** Влияние условий формования на свойства хитозановых волокон / Е.Н. Дресвянина, И.П. Добровольская, П.В. Попрядухин, В.Е. Юдин Е.М. Иванькова, В.Ю. Елоховский // Химические волокна. – 2012. 5. С. 20–23.
4. **Гребенников, С. Ф.** Сорбционные процессы в наноструктурах аморфно-кристаллических полимеров // С.Ф. Гребенников, Ю.С. Чулкова, Е.И. Зайцева // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. 45.2. С. 191–194.
5. **Laatikainen, M.** //M. Laatikainen, M. Lindstrom // Acta Polytechn. Scand. Chem. Technol. and Met. Ser. – 1987. 178. P. 105

Иванова К.В.¹, Розова Е.Ю.², Дресвянина Е.Н.^{1,2}, Колбе К.А.², Юдин В.Е.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Институт высокомолекулярных соединений (Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС)

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАН-ЛИГНИН

В последнее время существенно возрос интерес к материалам на основе лигнина, благодаря комплексу его полезных свойств, таких как биоразлагаемость, реакционная способность, биосовместимость, низкая токсичность, широкий диапазон биологической активности, антиоксидантные свойства [1-3]. Лигнин используют в качестве активного компонента и наполнителя при получении различных композиционных систем. Особый интерес представляет создание композиционных материалов хитозан-лигнин, перспективных для применения в медицине, биомедицине и косметологии. Кроме того, переработка хитозана и лигнина позволяет решить важную экологическую задачу утилизации отходов, тем самым поддерживая концепцию устойчивого развития биоразлагаемых композиционных материалов.

В данной работе рассмотрена возможность получения композиционных волокон на основе хитозана, наполненных лигнином.

Волокна формовали по мокрому методу из 4%-х растворов хитозана и 4%-х растворов хитозана, содержащих 0,5 и 5 мас.% лигнина, в 2-й уксусной кислоте. Осаждение осуществлялось в спиртово-щелочном осадителе, состоящем из 10%-го раствора NaOH и этанола в соотношении компонентов 1:1. Фильтрная вытяжка λ_f варьировалась от 0 до 100 %, пластификационная вытяжка $\lambda_{пл}$ составляла 20%. Волокна промывали в дистиллированной воде и сушили на воздухе при температуре 60 °С [4].

Для получения волокон использовали гидролизный лигнин (Valmet, Швеция). Такой лигнин представляет собой мелкодисперсный порошок коричневого цвета, который характеризуется неоднородной структурой и склонен к образованию крупных агрегатов в растворах. Это значительно затрудняет как процесс его переработки, так и возможность равномерного распределения в матричном полимере при получении композитов. Решение данных проблем требует тщательного подбора режимов диспергирования. Проведенные в работе исследования позволили подобрать оптимальный способ обработки лигнина, позволяющий получить гомогенный композиционный раствор. Водную суспензию лигнина перемешивали в течение 3-х суток на магнитной мешалке при комнатной температуре с целью получения равномерной устойчивой дисперсии, затем диспергировали на УЗ диспергаторе при частоте 40 кГц и мощности 630 Вт в течение 10 минут. В полученную суспензию добавляли хитозан и далее растворы готовили по установленной ранее схеме [4].

Процесс мокрого формования композиционных волокон, полученных таким способом обработки лигнина, стабилен, наблюдается ламинарное истечение струи при любом содержании лигнина в растворе. Волокна характеризуются улучшенными механическими характеристиками (Таблица 1).

Таблица 1 – Механические свойства композиционных волокон хитозан-лигнин. Величина фильерной вытяжки, $\lambda_{\phi} = 50 \%$

Содержание лигнина, мас. %	Линейная плотность волокна, T , текс	Напряжение при разрыве, σ , МПа	Модуль упругости, E , ГПа	Удлинение при разрыве, ε , %
0	7,4	199,9±8,4	11,3±0,5	7,1±0,7
0,5	7,8	217,3±20,1	12,2±0,9	6,9±1,4
5	7,6	221,2±17,5	12,1±0,8	6,4±0,3

Проведенные исследования биосовместимости методом МТТ-теста показали отсутствие цитотоксичности как волокон из чистого хитозана, так и композиционных волокон. Волокна способны вовлекаться в клеточно-материальные взаимодействия, обеспечивая условия для адгезии и колонизации фибробластами. При этом с увеличением содержания лигнина биосовместимость волокон повышается.

Список литературы

1. **Dallmeyer, I.** Preparation and Characterization of Kraft Lignin-Based Moisture-Responsive Films with Reversible Shape-Change Capability / I. Dallmeyer, S. Chowdhury, J. Kadla // *Biomacromolecules*. – 2013. 14. 7.
2. **Crouvisier-Uriona, K.** Impact of the homogenization process on the structure and antioxidant properties of chitosan-lignin composite films // K.Crouvisier-Uriona, A. Lagorce-Tachona, C. Lauquina, P. Wincklera, W. Tongdeesoontornb, S. Domeneck, F. Debeauforta, T. Karbowiaka // *Food Chemistry*. – 2017. 236. 120.
3. **Espinoza-Acosta, J.L.** Antioxidant, Antimicrobial, and Antimutagenic Properties of Technical Lignins and Their Applications // J.L. Espinoza-Acosta, P.I. Torres-Chávez, B. Ramírez-Wong, C.M. López-Saiz, B. Montaña-Leyva // *BioResources*. – 2016. 11. 2. P. 5452–5481.
4. **Dresvyanina, E.** The molecular mass effect on mechanical properties of chitosan / E. Dresvyanina, A. Yudenko, N. Yevlampieva, E. Maevskaya, V. Yudin, A. Gubarev, M. Slyusarenko, K. Heppe // *FIBRES and TEXTILES*. – 2018. 25. 2. P. 27–31.

Кильдеева Н.Р.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

СШИВКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ КАК ОСНОВА СОЗДАНИЯ БИОКОМПОЗИТОВ

Биокомпозиты на основе функциональных полисахаридов — это наполненные гидрогелевые материалы (криоструктураты, криогели, пленки нетканые субмикро- и нановолокнистые материалы), в которых в качестве матрицы выступает трехмерная сетка редко сшитого биополимера, как правило, содержащего ионизирующиеся группы (хитозан, альгинаты, коллаген и др.). Благодаря наличию заряженных групп эти природные полиэлектролиты обладают способностью набухать на тысячи процентов и удерживать воду. Это происходит не столько за счет сольватации, а из-за осмотического давления, возникающего вследствие разности концентраций противоионов внутри сшитого полимера и во внешнем растворе. Такие гидрогели и композиты на их основе по своим биомеханическим свойствам (эластичности, модулю упругости) близки к внеклеточному матриксу и мягким тканям живых организмов, поэтому основными областями их использования является биомедицина и регенеративная медицина: разработка искусственных матриксов — гидрогелевых каркасов, нагруженных компонентами костного матрикса, атравматичных раневых покрытий, систем адресной и пролонгированной доставки лекарств [1].

Реакция сшивки полисахаридов лежит в основе биомиметического подхода, направленного на формирование материала с характеристиками близкими к характеристике среды, в которой развиваются клетки, формирующие разные типы ткани: фибробласты (мышечные ткани), клетки эпителия (кожные покровы), остеобласты — клетки костной ткани [2]. Учитывая, что естественный внеклеточный матрикс состоит из сложной сети белков и углеводов, формирующих каркас тканей, используя комбинации биополимеров, можно добиться наилучших свойств тканеинженерных конструкций, обеспечивающих необходимую клеточную адгезию и пролиферацию. Была показана возможность стабилизации структуры криоструктуратов на основе фиброина и его композиций с хитозаном путем сшивки дженипином в водно-спиртовом растворе и установлены особенности роста клеток на полученных материалах. Исследование взаимодействия дженипина с фиброином и хитозаном показало, что за счет введения ацетата хитозана скорость реакции, приводящей к сшивке макромолекулярных цепей аминокислотных биополимеров, и концентрация продукта превращения дженипина, могут быть существенно увеличены по сравнению с использованием индивидуального белка. Обоснованы условия формирования стабильного искусственного матрикса: в 80 % водном растворе этанола реализуются условия для перераспределения водородных связей, сопровождающего $\alpha \rightarrow \beta$ конформационный переход в фиброине, а наличие хитозана способствует интенсификации процесса сшивки дженипином и включение макромолекул фиброина в трехмерную сетку сшитого хитозана.

Полученные макропористые белок-полисахаридные криоструктураты в набухом состоянии представляют собой широкопористые гидрогели с высокой влагоудерживающей способностью, развитой системой взаимосвязанных пор, что придает материалу биомеханическую, цитосовместимость и способность поддерживать пролиферацию клеток фибробластов клеток линии L929 [3].

Для регенеративного остеогенеза при костных повреждениях патогенетически обоснованным является использование высокодисперсных наполнителей на основе солей кальция, подготовленных в результате направленного неорганического синтеза с использованием соосаждения из растворов и в условиях механической активации. Применение водорастворимых прекурсоров кальций-фосфатных солей позволило не только достичь высокой степени дисперсности неорганической соли, но и получить высоконаполненные биогибридные матриксы путем ионной сшивки функционального полисахарида [4].

Использование сшивающих реагентов разного строения является мощным инструментом для направленного дизайна и тонкой настройки свойств функциональных материалов на основе гидрогелей полисахаридов. Выбор конкретного сшивающего агента определяется не только его доступностью и реакционной способностью, но и целевым назначением создаваемого материала биокompозитного материала.

Список литературы

1. **Yang, et al.** Polysaccharide hydrogels: Functionalization, construction and served as scaffold for tissue engineering //Carbohydrate polymers. – 2022. – Т. 278. – С. 118952.
2. **Kildeeva, N. R., Privar, Y. O., Bratskaya, S. Y.** Crosslinking Agents in the Targeted Design of Chitosan-Based Materials //Colloid Journal. – 2025. – Т. 87. – №. 6. – С. 875–902.
3. **Kildeeva N. R. et al.** Cryostructurates based on fibroin and its compositions with chitosan: preparation and use as macroporous carriers for cell culturing //Applied Biochemistry and Microbiology. – 2026. – Т. 62. – №. 2. – С. 198–209.
4. **Akhmedov M. M. et al.** Composite Materials Based on Sodium Alginate and Synthetic Powders of Calcium Carbonate //Journal of Composites Science. – 2026. – Т. 10. – №. 3. – С. 172.

Кирпаль Ю.Г., Силаева А.А., Ромахина Т.Р.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АНАЛИЗЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОСТАВ-СВОЙСТВА ЭРОЗИОННОСТОЙКИХ НАПОЛНЕННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Эрозионностойкие лакокрасочные покрытия (ЛКП) представляют собой тонкослойные полимерные композиционные материалы, состоящие из полимерной матрицы и дисперсной фазы (функциональные наполнители). Свойства таких композитов определяются характеристиками их компонентов, межфазным взаимодействием на границе "матрица-наполнитель" и некоторыми другими параметрами. Целенаправленная разработка подобных систем затруднена из-за отсутствия ясных моделей, связывающих состав покрытия со свойствами. Цифровизация материаловедения, в частности методы машинного обучения (ML), открывает новые возможности для ускорения разработки рецептур и выявления скрытых закономерностей [1]. Однако в настоящее время применение машинного обучения в области лакокрасочных материалов (ЛКМ) в следствие их сложности и многокомпонентности весьма ограничено [1,2]. На данном этапе машинное обучение применяется нами для анализа связей состав-свойства эрозионностойких ЛКП с перспективой перехода к прогнозированию на основе выявленных зависимостей. В рамках исследования были решены следующие задачи: определение входных и выходных параметров модели, формирование экспериментальной базы данных и первичное моделирование с анализом его результатов.

Для создания однородной базы данных были разработаны двухупаковочные полиуретановые покрытия на основе акриловых полиолов «ИНДПОЛ» и алифатического изоцианата. Варьируя концентрацию (от 5 до 20 масс. %) различных по морфологии функциональных наполнителей (нитевидный оксид цинка, микроволластонит, микротальк), мы получили 12 композиций.

При решении задачи составления датасета, в качестве целевых (таргетных) значений были выбраны такие свойства покрытий, как коэффициент износа Табера (ГОСТ 20811-2025), адгезия (ГОСТ 31149-2014), твердость (ГОСТ 5233-2021), прочность при ударе (ГОСТ 4765–2024). В качестве входных параметров были выбраны качественные и количественные признаки, характеризующие как соотношения компонентов в рецептурах, так и их свойства. Для описания пленкообразующего и отвердителя использовали число активных функциональных групп и их структуру (SMILES-записи), также температуру отверждения покрытия.

Наполнители и пигменты характеризовались химическим составом (также через SMILES), значением pH водной вытяжки, средним диаметром частиц, коэффициентом формы, смолемкостью. По SMILES записям с помощью библиотеки RDKit были рассчитаны следующие признаки: NumRotatableBonds, NumValenceElectrons, FractionCSP3.

Первичное моделирование с использованием Random Forest Regressor показало, что на параметр твердости и износостойкости покрытия наибольшее влияние оказывает соотношение компонентов, размер, форма и кислотно-основные свойства поверхности частиц наполнителей, что подтверждает важность межфазных взаимодействий в системе матрица-наполнитель. Незначительный вклад признаков, описывающих матрицу, связан, очевидно, с их малой вариабельностью в исследуемой выборке. Важно отметить, что вычисленные при прогнозировании крайне низкие ($R^2 < 0,1$) значения коэффициентов детерминации для параметров адгезии и прочности при ударе указывают на ограниченную чувствительность стандартизированных методов их измерения. В связи с этим дальнейшая работа будет направлена на расширение обучающей выборки, уточнение набора дескрипторов межфазного взаимодействия и полимерной составляющей, а также на поиск более информативных показателей механических свойств покрытий.

Список литературы

1. **Jhamb S., Enekvist M., Liang X., Zeng S., Dam-Johansen K., Kontogeorgis G.** A review of computer-aided design of paints and coatings // Current Opinion in Chemical Engineering. 2020. Vol. 27. Pp. 107–120. DOI:10.1016/j.coche.2019.12.005.
2. **Arya R. K., Sharma J., Shrivastava R., Thapliyal D., Verros G. D.** Modeling of Surfactant-Enhanced Drying of Poly(styrene)-p-xylene Polymeric Coatings Using Machine Learning Technique // Coatings. 2021. Vol. 11. No. 12. p. 1529. DOI:10.3390/coatings11121529.

Кольцова Т.Б., Цобкалло Е.С., Мещерякова Г.П.

МЕТОД ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНЫХ ДИАПАЗОНОВ НЕРАЗРУШАЮЩИХ НАГРУЗОК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ И ВОЛОКОН

Полимерные волокна и нити — ключевые конструкционные элементы композитов. Традиционный подход к оценке надёжности, основанный на критических разрывных значениях напряжений и деформаций с введением запаса прочности, для полиамидных нитей недостаточно корректен из-за

релаксационных эффектов, нелинейности диаграммы растяжения и погрешности измерения площади сечения. В связи с этим актуальна разработка особого подхода к определению безопасных неразрушающих нагрузок. Нами разработан метод оценки безопасных напряжений и деформаций, базирующийся на статистическом выделении диапазона неразрушающих нагрузок вместо использования критических разрывных величин. Для вероятностного описания разрывных характеристик материалов в работе используется двухпараметрическое распределение Вейбулла. Метод основан на анализе экспериментальных значений разрывной нагрузки и деформации элементарных синтетических нитей полиамида-6 и одиночных волокон натуральной шерсти. Для вероятностного описания разрывных и деформационных характеристик волокон и нитей в работе используется двухпараметрическое распределение Вейбулла. [1–3], функция плотности вероятности которого имеет вид (1),

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}; & x \geq 0 \\ 0; & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где k – параметр формы, λ – параметр масштаба. Оно хорошо моделирует средние значения, но плохо подходит для оценки минимальных прочностей. В таких случаях применяют трёхпараметрическую модель распределения Вейбулла (2) [3], которая содержит параметр сдвига x_0 – наименьшее значение случайной величины.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x - x_0}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x - x_0}{\lambda}\right)^k}; & x \geq x_0 > 0 \\ 0; & x < x_0 \end{cases} \quad (2)$$

Однако трёхпараметрическая модель сложна в расчётах. Поэтому мы предлагаем упрощённый практический метод — «отсечение начала координат», суть которого состоит в следующем: эмпирически определяем x_0 - минимальную варианту в выборке; сдвигаем все данные: $x' = x - x_0$; к преобразованным данным применяем стандартную двухпараметрическую модель Вейбулла (1). Математически эта модель полностью эквивалентна трёхпараметрической модели, но гораздо проще в реализации — все расчёты ведутся по обычному двухпараметрическому распределению Вейбулла.

Предложенный метод обладает рядом преимуществ:

1) Простота — использует стандартный аппарат двухпараметрической модели, реализованный в ряде статистических пакетов.

2) Метод обоснован физически, ибо введение абсолютного нуля физической величины прочности при разрыве — x_0 учитывает, что прочность не может быть сколь угодно малой и, тем более, отрицательной.

3) Метод позволяет оценивать нагрузки, которые находятся в диапазоне $[x_0; x_0 + \varepsilon]$, где ε – мало. В двухпараметрической модели таким малым нагрузкам соответствовала бы хоть и маленькая, но ненулевая вероятность разрушения, что физически неверно. В предложенном методе вероятность разрушения при нагрузке $x < x_0$ равна нулю, что и требуется для определения безопасных диапазонов неразрушающих нагрузок.

Данный подход позволяет корректно определять безопасные нагрузки, что критически важно при проектировании ответственных конструкций из хрупких и квазихрупких материалов, таких как композиты, керамика и, как в нашем случае, волокна.

Список литературы

1. **Бойко, Ю. М.** Статистический анализ прочности ориентированных волокон полиамида-6 / Ю. М. Бойко, В. А. Марихин, О. А. Москалюк, Л. П. Мясникова, Е. С. Цобкалло // Письма в Журнал технической физики. – 2019. – Т. 45, № 8. – С. 37–39.
2. **Кольцова Т. Б., Цобкалло, Е. С.** Статистические подходы к анализу прочностных характеристик текстильных волокон. Обзорная статья / Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 3. 2020, с. 72–76
3. **Вьюненко, Л. Ф., Цобкалло, Е. С., Кольцова, Т. Б.** Статистический метод определения границ диапазонов неразрушающих нагрузок и деформаций синтетических нитей // Письма в ЖТФ, 2025, том 51, вып. 15. – С. 36–40. DOI: 10.61011/PJTF.2025.15.60810.20340

Кудринская О.В., Асташкина О.В., Анисимов А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОТВЕРЖДАЮЩАЯ СИСТЕМА И ЕЁ РОЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Композиционные материалы (композиты) – это многокомпонентные материалы, состоящие из матрицы и наполнителя, между которыми есть чёткая граница раздела фаз. Прочностные, эксплуатационные и другие свойства композита зависят от свойств матрицы (связующего в процессе

изготовления композита) и наполнителя, а также межфазового взаимодействия на границе между связующим и наполнителем.

Матрица выполняет несколько ключевых функций:

- обеспечивает монолитность композита;
- фиксирует взаимное расположение армирующих компонентов (волокон, дисперсных частиц) и форму изделия;
- равномерно распределяет действующие напряжения по всему объёму материала на наполнитель и перераспределяет их при разрушении части волокон.

Для полимерных композиционных материалов матрица формируется из полимерной смолы. В процессе отверждения полимера важную роль выполняет отверждающая система. Отверждающая система – это комплекс компонентов, который обеспечивает переход полимерного материала (связующего) из жидкого или вязкого состояния в твёрдое, образуя прочную трёхмерную структуру. В состав отверждающей системы могут входить: отвердители, инициаторы, ускорители (катализаторы) и ингибиторы.

Отвердители (сшивающие агенты) – полифункциональные соединения, которые вступают в химическую реакцию с функциональными группами полимера. К ним относятся диамины, полиамины, фенолы, гликоли, ангидриды, изоцианаты и другие соединения.

Инициаторы – вещества, генерирующие активные частицы (радикалы, катионы), которые запускают процесс полимеризации. К ним относятся органические пероксиды, диазо-соединения, кислоты Льюиса, третичные амины.

Ускорители (катализаторы) – усиливают действие инициаторов или отвердителей. Например, для полиэфирных смол с перекисями кетонов применяют нафтенат и октоат кобальта, а с перекисью бензоила – третичные амины (диметиланилин, диэтиланилин).

Ингибиторы – замедляют преждевременную полимеризацию в процессе хранения. К ним относятся фенол, трикрезол, хиноны, некоторые органические кислоты.

Изобретение и развитие отверждающих систем и смол стало одним из ключевых этапов в истории материаловедения XX века, когда стремительный рост промышленности и научно-технический прогресс потребовали создания новых, более прочных и универсальных материалов.

Выбор конкретной отверждающей системы зависит от требований к свойствам конечного материала, от условий производства, от условий эксплуатации конечного продукта и от экономических факторов.

Отверждающая система является ключевым компонентом композиционных материалов, поэтому играет важную роль в создании композитов, которая заключается в следующем [1]:

- Формирование структуры композита. Отверждение матрицы связывает армирующие компоненты (волокна, частицы) в единое целое, обеспечивая монолитность и целостность материала.
- Передача напряжений. Прочная связь между матрицей и наполнителем позволяет равномерно распределять нагрузки по всему объёму композита и эффективно передавать напряжения от матрицы к армирующим элементам.
- Определение свойств материала. Степень сшивки полимерной сетки при отверждении влияет на механические (прочность, жёсткость), термические (температура стеклования), химические и другие свойства композита.
- Контроль процесса изготовления. Режимы отверждения (температура, время, скорость нагрева) определяют качество композита, его однородность и отсутствие дефектов.

Таким образом, отверждающая система играет ключевую роль в формировании структуры, свойств и качества композиционных материалов, определяя их эксплуатационные характеристики и область применения.

Список литературы

1. Лебедев, С. В. Композиционные материалы в авиастроении: исторический обзор / С. В. Лебедев // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 4. – С. 45–53.

Кучевская М.Е.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ МОНОМЕРОВ И ИНИЦИАТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фталонитрильные связующие являются одними из наиболее перспективных термореактивных матриц для полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения [1, 2]. Благодаря уникальному сочетанию термической стабильности, огнестойкости и высоких механических характеристик, они рассматриваются как эффективная замена металлов в теплонагруженных (до 300 °С) конструкциях авиакосмической техники. На сегодняшний день в литературе отсутствует исчерпывающее систематическое исследование, описывающее комплексное влияние химической структуры фталонитрильных мономеров и инициаторов поликонденсации на кинетические параметры процесса и конечные термические и механические свойства формирующейся трехмерной

полимерной сетки. В рамках представленной работы проведена оценка влияния химического строения компонентов матрицы на ключевые термические и механические свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Выбор модельных мономеров был обусловлен необходимостью интерпретации электронных эффектов заместителей и их корреляции с реакционной способностью фталонитрильных групп. Инициаторы варьировались по функциональности (количеству аминогрупп), их изомерии в бензольном кольце, а также с учетом индуктивных и мезомерных эффектов ближайшего молекулярного окружения.

Методом горячего прессования были получены двенадцать образцов ПКМ на основе 4,4'-(1,3-фениленбис(окси))-дифталонитрила (ДФБ) с применением четырех различных структурных типов инициаторов. Обнаружено, что механические свойства постотвержденных систем на основе ДФБ проявляют низкую чувствительность к химической природе используемого инициатора, сохраняя стабильность в широком диапазоне температур.

Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и динамического механического анализа (ДМА) показано, что термические релаксационные переходы (температуры стеклования) и температурные интервалы начала поликонденсации находятся в строгой зависимости от химического строения прекурсоров. Установлено, что ряд относительной реакционной способности инициаторов не является инвариантным и претерпевает инверсию при смене мономера. Общей закономерностью является повышенная реакционная способность фталонитрильных мономеров, содержащих электроноакцепторные фрагменты, по отношению ко всем исследованным типам инициаторов, что обусловлено снижением электронной плотности в реакционном центре.

Список литературы

1. **Soutis C.** Fibre reinforced composites in aircraft construction //Progress in aerospace sciences. – 2005. – Vol. 41. – №. 2. – Pp. 143–151. DOI:10.1016/j.paerosci.2005.02.004.
2. **Augustine D. et al.** Polyphthalonitrile resins and their high-end applications //Thermosets. – Elsevier, 2018. – Pp. 577 – 619. DOI:10.1016/B978-0-08-101021-1.00018-6.

Лимич Ю.А., Джуама С.И., Петрова Д.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Лузга подсолнечника является крупнотоннажным отходом масложировой промышленности, перспективным для получения недорогих сорбционных материалов. Ключевыми факторами, определяющими эффективность сорбции, являются удельная поверхность и пористость, которые зависят от размера частиц и режимов термообработки. Цель работы – оценить сорбционную емкость исходной и карбонизованной при 800 °С лузги подсолнечника в зависимости от размера фракций.

В качестве исходного материала использовали лузгу подсолнечника для кормовых целей ООО «Моршанский МЭЗ» (Тамбовская область, м.о. Моршанский п. Устьянский). Далее ее измельчали в дробильной машине, где она подвергалась режущему воздействию в течении 30 секунд. Измельчённую лузгу разделяли на фракции по размеру частиц под действием механических колебаний (вибрации) при последовательном прохождении через набор сит с отверстиями различного калибра. В результате фракционирования получили 5 фракций с размерами частиц: 0,5; 0,45; 0,4; 0,3 и 0,25 мм. Далее часть полученных фракций подвергали карбонизации в среде азота при конечной температуре термообработки 800 °С. Сорбционную емкость определяли в соответствии с ГОСТ 6217-74 методом сорбционной активности по йоду.

Было показано, что среди некарбонизованных образцов максимальная сорбционная емкость (381 мг/г) зафиксирована у самой мелкой фракции (0,25 мм), что объясняется увеличением удельной поверхности. Минимальное значение (292 мг/г) было зафиксировано у нерассеянной лузги обусловлено присутствием крупных частиц и агломератов. Карбонизация привела к резкому росту сорбционной способности (в 1,6–2,2 раза) за счет формирования микропористой структуры и удаления летучих компонентов. Максимум достигнут для фракций 0,5 и 0,3 мм – 635 мг/г. Обнаружено, что для карбонизованных образцов зависимость «чем мельче, тем выше емкость» нарушается: фракция 0,25 мм демонстрирует наименьшее значение (550 мг/г). Это может быть связано с частичным разрушением мелких частиц при высокотемпературной обработке, ведущим к спеканию и снижению доступной поверхности. Оптимальным для получения сорбента является предварительное измельчение лузги до

фракции 0,5–0,3 мм с последующей карбонизацией при 800 °С, что обеспечивает сорбционную емкость на уровне 635 мг/г.

Линник Е.В.¹, Усс Е.П.²

¹ОАО «Белшина»

²Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЯТНА КОНТАКТА ШИНЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С НЕПОДВИЖНЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Устойчивость шины к усталостным повреждениям является ключевым фактором, определяющим ее ресурс эксплуатации, поэтому при создании новой шины первостепенное значение имеет разработка системы критериев для оценки ее сопротивляемости усталостному разрушению. На этапе проектирования необходимо проводить расчеты циклической долговечности всех элементов шины, которые должны учитывать физико-механические характеристики используемых материалов; уровень напряжений, возникающих в элементах конструкции при эксплуатации; характер деформаций, которые испытывают детали шины в процессе работы. Такой подход позволяет прогнозировать ресурс отдельных компонентов шины, выявлять потенциально опасные зоны концентрации напряжений, оптимизировать конструкцию для повышения общей долговечности изделия, а также оценивать устойчивость шины к усталостным разрушениям еще до начала производства. Проведение расчетных исследований на ранней стадии разработки помогает существенно повысить качество проектирования и обеспечить требуемый уровень надежности будущей продукции [1, 2].

Существует два основных подхода к определению величины максимальных деформаций в критически нагруженных элементах шины: экспериментальный и расчетный методы. При выполнении расчетных исследований необходимо принимать во внимание комплекс параметров: жесткостные и физико-механические характеристики используемых материалов, давление воздуха в шине, скорость движения автомобиля, удельные нагрузки на каждое ребро протектора в зоне контакта, инерционные силы, величины и характер радиального прогиба шины, состояние дорожного покрытия, а также конструктивные особенности самой шины.

Целью работы являлось экспериментальное установление зависимости влияния изменения нагрузочных характеристик шины при ее контакте с неподвижным горизонтальным основанием.

В качестве объекта исследования использовалась шина низкого давления. Для определения пятна контакта использовался комплекс, являющийся системой для измерения давления и изучения его распределения, использующий сенсоры, работающие на основе резистивной технологии, при этом сопротивление чувствительного элемента сенсора меняется обратно пропорционально приложенному давлению. Система может предоставлять данные в режиме реального времени, выводить на экран цветную карту распределения давления, записывать данные в виде роликов для их последующего анализа.

В процессе проведения экспериментальных исследований получены зависимости влияния изменения давления шины (Таблица 1) и приложенной силы (Таблица 2) на контакт шины с неподвижным горизонтальным основанием.

Таблица 1 – Изменение контактной области от давления в шине

Показатель	Значения				
Давление в шине, кПа	160	140	120	100	80
Контактная область, мм ²	125591	126957	133533	141575	150983

Таблица 2 – Изменение контактной области от приложенной силы

Показатель	Значения				
Сила, Н	49510,8	54969,2	61180,5	68035,3	76107,3
Контактная область, мм ²	121596	130801	140917	151337	165500

Определено, что при увеличении приложенной статической нагрузки на 53% контактная область увеличивается на 36%. В то же время, при увеличении давления в шине на 50% контактная область снижается на 17%.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости комплексного подхода к подбору оптимальных нагрузочных характеристик шины с целью обеспечения необходимой сопротивляемости усталостному разрушению в процессе эксплуатации шины и снижения интенсивности деформаций.

Работа выполнялась по заданию Государственной программы научных исследований «Современное материаловедение, перспективные материалы и новые технологии», подпрограммы «Порошковые и композиционные материалы».

Список литературы

1. **Абрамов, В. Н.** Обеспечение сохраняемости и долговечности шин и резинотехнических изделий автомобильного транспорта : специальность

05.20.03 "Технология и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Абрамов Вячеслав Николаевич ; Федеральное государственное унитарное предприятие "21 Научно-исследовательский испытательный институт Минобороны России". – Москва, 2006. – 36 с.

2. Реализация алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния элементов машин и трибологических систем / В. В. Можаровский, Д. С. Кузьменков, И. И. Коляскин, Ю. В. Василевич, М. В. Москалева // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 36–43.

Лобанова М.Ф.¹, Кузин М.С.², Герасименко П.С.², Миронова М.В.², Легков С.А.², Скворцов И.Ю.²

¹Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина

²Институт нефтехимического синтеза имени А. В. Топчиева РАН

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИКАРБОСИЛАНА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМУЕМЫХ ИЗ НИХ ВОЛОКОН

Создание волокон на основе карбида кремния относится к числу важных промышленных задач, что обусловлено их востребованностью в условиях высокотемпературных технологических процессов. Традиционно такие волокна производятся через расплав из прекурсоров, в первую очередь из поликарбосилана, однако существенным недостатком исходных формуемых систем является их повышенная хрупкость. В рамках данной работы изучается иной метод — получение волокна с использованием концентрированных растворов поликарбосилана. Предполагается, что присутствие остаточного растворителя позволяет ему временно выполнять функцию пластифицирующего агента, увеличивая податливость материала к деформации и предотвращая преждевременное хрупкое разрушение непосредственно при формовании. На начальном этапе пиролиза растворитель может быть удалён без принципиального влияния на дальнейшее керамикообразование.

Исходя из этого, анализ реологического поведения и характера межмолекулярного взаимодействия в растворах поликарбосилана обретает не только фундаментальное научное значение, но и служит базой для создания перспективных технологических решений. Суть проделанной работы сводится к сравнительному изучению растворов поликарбосилана в

двух неполярных средах с различной молекулярной архитектурой: линейной (н-гептадекан) и циклической (декалин) а также получению волокон из концентрированных растворов поликарбосилана. Целью исследования было определение влияния структуры молекулы растворителя на взаимодействие с полимером, вязкоупругие свойства в концентрированных системах, формование из них волокон и измерение их свойств.

Для реализации поставленной цели было выполнено комплексное экспериментальное изучение характера межмолекулярных взаимодействий, особенностей микроструктурной организации и вязкоупругого поведения приготовленных растворов. Оценка сродства полимера к растворителю, а также реологических характеристик формовочных растворов проводилась с применением методов капиллярной вискозиметрии и ротационной реометрии при температурах 25°C и 70°C. Исследование специфики межмолекулярных контактов и микроструктуры образцов осуществлялось посредством инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием. Установлено, что в области разбавленных и умеренно концентрированных растворов (до 55 мас.%) поведение обеих сред практически идентично. Однако по достижении высоких концентраций (от 75 мас.%) проявляются выраженные отличия: системы на основе н-гептадекана демонстрируют усиление межмолекулярных связей и рост упругого вклада, тогда как декалин способствует более эффективной сольватации и поддержанию структурной стабильности. Проведенный цикл измерений был направлен на выбор растворителя, характеристики которого в наибольшей степени удовлетворяют требованиям стабильного формования волокна из растворов. Также в рамках исследования были получены волокна из концентрированных растворов, характеристики которых оказались не хуже тех, что формуются из расплавов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что именно молекулярная геометрия растворителя является ключевым фактором, регулирующим надмолекулярную структуру и вязкоупругое поведение концентрированных растворов поликарбосилана. С точки зрения практического применения, линейный гептадекан представляется более выигрышным вариантом для формирования систем с оптимальными деформационными свойствами, пригодных к устойчивому формованию волокна. Важно отметить, что полученные в работе волокна демонстрируют комплекс свойств, не уступающий показателям волокон, традиционно производимых из расплавов. Выявленные закономерности создают надежную основу для дальнейшего совершенствования технологии получения волокон карбида кремния, а также могут быть использованы при разработке новых функциональных материалов и соответствующих методов обработки.

Лунина С.Е.^{1,2}, Меш М.В.², Карцева Т.Ю.²

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт

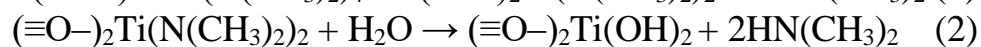
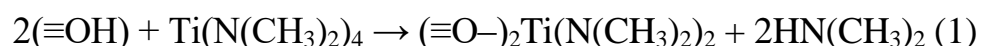
²Специальное конструкторско-технологическое бюро «Кольцова»

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

С развитием оптических технологий появилась потребность в создании более сложных оптических деталей. Изготовление таких деталей из стекла является проблематичным, поэтому имеет смысл использовать для их изготовления полимерные материалы, в частности методы 3D-печати. С помощью этой технологии стало возможным создание миниатюрных оптических систем и целых оптических приборов, таких как эндоскопы. Сложные микрооптические системы печатаются на 3D-принтере за один процесс, а не собираются по частям, что требует нанесения покрытия не на отдельные линзы, а на сложные системы. Это исключает использование таких методов как напыление или лазерное травление, так как они не обеспечивают необходимую конформность к сложным формам изделий. Возможный вариант решения этой проблемы – использование метода молекулярного наслаивания (МН), который позволяет обеспечить не только высокую конформность к подложке, но и использует низкие температуры, что позволяет наносить покрытия на полимерные материалы, используемые при 3D-печати.

В данной работе рассматривается получение оптических покрытий методом МН при низких температурах и изучение их свойств.

Метод молекулярного наслаивания основан на чередующихся самоограничивающихся реакциях между газообразными реагентами и твердой поверхностью. Для исследования синтезировали однослойные оптические покрытия из 4-х материалов: Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , ZnS толщиной 500 нм на подложках из стекла марки М1. Для синтеза использовали триметилалюминий, тетраакис(диметиламино)титан, диэтилцинк и воду. Температура синтеза покрытий 100 °С. Реакции, протекающие на поверхности, на примере триметилалюминия:



Для этих пленок на основе спектров пропускания и отражения было рассчитано значение показателя преломления – таблица 1. Полученное

значение хорошо согласуется с литературными данными [3]. Оптические характеристики измерялись на спектрофотометре OPTOSKY ATR 3330/4. Коэффициенты преломления рассчитывались по спектрам пропускания и отражения в программе OptiRe.

Таблица 1 – Результаты расчета показателя преломления

Покрытие	Показатель преломления на дине волны 632,8 нм
Al ₂ O ₃	1,56
TiO ₂	2,25
ZnO	2,10
ZnS	2,16

На основании полученных данных были синтезированы просветляющие покрытия для диапазона длин волн (1535±20) нм на стекле марки К8. Структура образцов представляла собой двухслойные пленки Al₂O₃/ZnS. По результатам оптических измерений выявили, что в требуемом диапазоне удалось повысить пропускание до 98,8%, что совпадает с теоретическими расчетами. Предложенный метод позволяет наносить тонкопленочные оптические покрытия на объемные детали из полимерных материалов.

Список литературы

1. **Малыгин, А. А.** От химических реакций на поверхности твердых тел к нанотехнологии молекулярного наслаивания/ А. А. Малыгин // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2007 – №1 (27) – с. 14 – 24 – УДК 546.881;544.72;544.42
2. **Ristok, S.** Atomic layer deposition of conformal anti-reflective coatings on complex 3D printed micro-optical systems / S. Ristok, P. Flad, H. Giessen // Optical Materials Express – 2022. Vol. 12. No. 5. p. 2063–2071.
3. **Ершов, А.В., Машин, А.И.** Многослойные оптические покрытия. Проектирование, материалы, особенности технологии получения методом электроннолучевого испарения: учеб. Пособие/ А.В Ершов, А.И. Машин.– Нижний Новгород – 2006–99 с.

Лысенко В.А.¹, Крисковец М.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Охтинский колледж»

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН

При термическом нагреве волокон из поли-пара-фенилен-1,3,4-оксадиазола (полиоксадиазол, ПОД) в инертной среде происходит их карбонизация, ПОД волокна становятся электропроводящими.

Исследования [1 – 3] показывают, что при изменении конечной температуры карбонизации, например, в диапазоне от 600 до 1000 °С происходит падение электрического сопротивления промышленно выпускаемых ПОД нитей марки Арселон, Арселон-С с 160 кОм до 15 Ом, т.е. в $10,7 \times 10^3$ раз.

На основе обнаруженного эффекта нами был разработан способ определения распределения температуры в объёме печей карбонизации, с использованием ПОД нитей как высокоточных датчиков температуры.

Разработанный способ и датчики апробированы в промышленных печах карбонизации и показали следующие характеристики.

Точность определения температуры составила 0,1 °С в температурном диапазоне 600 – 1000 °С.

В печах размером, например, с рабочим объёмом 2000 × 2000 × 2000 мм точность определения температуры по координате составила 3 мм.

Несомненным достоинством разработанного способа является наличие памяти у полиоксадиазольных углеродных волокон, как датчиков. Углеродное ПОД волокно фиксирует максимальную температуру нагрева в области расположения. При уменьшении температуры, например, при остывании печи, будет зафиксирована максимальная температура в данной точке.

В докладе представлены примеры 3D пространственного распределения температуры (температурных полей) в объёме печей.

Таким образом, разработанный метод позволяет определять распределение температуры в объёме промышленных печей большого размера с чрезвычайно высокой точностью, высоким пространственным разрешением и высокой воспроизводимостью измерений, что не может быть столь просто достигнуто на практике никакими другими методами.

Список литературы

1. **Лысенко, В. А.** Системное проектирование углеродных композиционных материалов. Теория и практика / В. А. Лысенко. – Palmarium Academic Publishing, 2018. – 323 с.
2. Создание углеродных электропроводящих волокон на основе полиоксидазола. Системная инженерия, информационное моделирование, технологии и свойства / В. А. Лысенко, М. В. Крисковец. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 351 с.
3. **Крисковец, М. В.** Разработка и исследование углеродных волокон с низким удельным объемным электрическим сопротивлением на основе полиоксидазола : специальность 05.17.06 “Технология и переработка полимеров и композитов” : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Крисковец Максим Викторович ; Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург, 2021. – 181 с.

Лысенко В.А.¹, Крисковец М.В.², Яковлев С.А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение “Охтинский колледж”

УГЛЕРОДНЫЕ ПОЛИВИНИЛСПИРТОВЫЕ ВОЛОКНА: ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ

В последнее десятилетие наблюдается увеличение объемов мирового выпуска углеродных волокон (УВ) из поливинилового спирта (ПВС). Значительно возросший интерес к исследованиям свойств ПВС УВ обусловлен всевозрастающими объемами выпуска поливинилспиртовых волокон, требующего освоения новых областей применений, и уникальными свойствами углеродных ПВС волокон.

Работы кафедры НВКМ СПбГУПТД в области исследования углеродных ПВС УВ функционального назначения были организованы в рамках научной школы по исследованию и разработкам углеродных волокнистых материалов, созданной и руководимой заведующим кафедрой – Александром Александровичем Лысенко, лауреатом Премии правительства России, доктором технических наук, профессором.

Перспективные поисковые работы выполнены доктором технических наук, профессором С.В. Буринским, доктором технических наук, доцентом В.А.

Лысенко, кандидатом технических наук М.В. Крисковцом. Ими разработаны и исследованы ПВС УВ с ультранизким удельным электрическим сопротивлением материала филаментов – менее $0,193 \cdot 10^{-3}$ мОм·см [1].

Развиты модельные представления о перестройке химических связей при дегидратации и карбонизации ПВС волокон.

Высокая электропроводность ПВС УВ обеспечивается за счет сохранения исходной ориентации макромолекул кристаллического ПВС и их трансформации в стабильные линейно-цепочечные поликумуленовые структуры в ходе интенсивной ориентационной вытяжки. Это позволяет сформировать одномерные каналы квазибаллистического транспорта с туннелированием носителей заряда, что и обуславливает достижение ультранизкого удельного электрического сопротивления.

Показано, что ПВС УВ обладают полупроводниковыми свойствами. Электропроводность зависит от направления плотности тока в карбонизованном ПВС волокне: в направлении выработки исходного ПВС волокна или в противоположном направлении [2]. Обнаруженный эффект на ПВС УВ является характерным для УВ из гидратцеллюлозных, полиакрилонитрильных и полиоксидиазольных волокон-прекурсоров [3].

В докладе проанализированы области промышленного производства, где ПВС УВ, материалы и устройства на их основе ценятся за технологичность и низкую стоимость: сорбенты для очистки стоков и газовых сред, электромагнитные экраны; антистатические материалы, нагреватели и системы антиобледенения [4].

Особое внимание уделено перспективным исследованиям, в которых акцент делается на уникальные физико-химические свойства ПВС УВ и новые рынки: гибкие датчики деформации, давления и движения («умный» текстиль») для носимой электроники и медицины; датчики с экстремально низким порогом срабатывания (e-skin); электропроводящие биосовместимые каркасы (скаффолды) для регенерации нервных и мышечных тканей; носители катализаторов с целью снижения расхода платины, палладия в водородной энергетике; электроды электрохимических источников тока, в том числе микробных топливных элементов; батареи и суперконденсаторы [5].

Список литературы

1. **Лысенко, В. А.** Электрическое сопротивление карбонизованных волокон на основе поливинилового спирта / В. А. Лысенко, М. В. Крисковец, С. В. Буринский // Химические волокна. – 2019. – № 5. – С. 26–31.
2. **Лысенко, В. А.** Исследование влияния режимов изготовления на удельное электрическое сопротивление углеродных поливинилспиртовых волокон / В. А. Лысенко, С. А. Яковлев, М. В. Крисковец // Научный журнал "Вектор научной мысли". – 2025. – № 11. – С. 247–249.

3. Создание углеродных электропроводящих волокон на основе полиоксидазола. Системная инженерия, информационное моделирование, технологии и свойства / В. А. Лысенко, М. В. Крисковец. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 351 с.

4. Activated Carbon Fiber (ACF) Market Growth Analysis, Dynamics, Key Players and Innovations, Outlook and Forecast 2025-2032 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL – [https://www.intelmarketresearch.com/activated-carbon-fiber-market-13236#:~:text=The%20global%20Activated%20Carbon%20Fiber%20\(ACF\)%20market%20is%20characterized%20by,countries%20like%20China%20and%20Japan](https://www.intelmarketresearch.com/activated-carbon-fiber-market-13236#:~:text=The%20global%20Activated%20Carbon%20Fiber%20(ACF)%20market%20is%20characterized%20by,countries%20like%20China%20and%20Japan) (Дата обращения 12.04.2026).

5. **Anggoro D.** Tailoring conductive polyvinyl alcohol nanofibers: thermal-induced structural evolution in nitrogen for energy storage device / D. Anggoro, Sudarsono, E. Purwandari, M. A. Baqiya, M. M. Ramli, H. Nakajima, G. Yudoyono, Darminto // Discover Materials. 2025. V. 5. Art. 16. DOI:10.1007/s43939-025-00197-8.

Мазуркевич Е.М.¹, Лукичева Н.С.¹, Хохлова В.А.¹, Самбук Е.В.^{2,3}, Краснова А.Б.⁴, Варганова К.А.³, Ниманова В.В.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²Санкт-Петербургский государственный университет
ГБОУ «Лицей 280 им. М.Ю. Лермонтова»

⁴Российский государственный педагогический университет

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ХЛОРГЕКСИДИНОМ ПРИ РАЗНЫХ ФОРМАХ ВВЕДЕНИЯ

Полимерные композиционные материалы широко применяются в медицинских изделиях благодаря сочетанию прочности, стабильности характеристик и возможности придать новые свойства материалу [1]. В последние годы возрастает интерес к материалам с антимикробным действием, поскольку они позволяют снизить вероятность переноса микроорганизмов при контакте с поверхностью изделий [2]. В качестве антисептической добавки часто используется хлоргексидин, обладающий широким спектром активности [3].

Целью работы является сравнительная оценка антимикробных свойств стеклопластиков с хлоргексидином при различных способах его введения.

Объектом исследования являлись стеклопластиковые композиты на основе эпоксидной смолы. Были изучены антимикробные свойства образцов без антисептической добавки, а также композиции с хлоргексидином, введённым в виде 20 % водного раствора (торговое название «Дезин») с концентрацией в изделии 1,71 % (масс.) и 2 % (об.) и в виде сухого концентрата – 1,71 % и 3,39 % (масс.). Антимикробную активность определяли методом прямого контакта с культурой *Saccharomyces cerevisiae* с последующей оценкой числа выживших клеток.





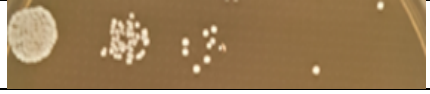
Результаты исследования представлены в таблице 1.

Установлено, что материал без антисептической добавки не проявляет выраженных антимикробной активности. На его поверхности сохраняется часть жизнеспособных клеток, что указывает на отсутствие активного подавления микроорганизмов.

Введение хлоргексидина приводит к заметному изменению свойств материала. Наиболее выраженный эффект наблюдается при использовании водного раствора хлоргексидина с концентрацией в изделии 1,71 % (масс.). Уже на начальном этапе контакта отмечается резкое снижение количества выживших клеток, а через 60 минут их практически не обнаруживается.

При использовании водного раствора с концентрацией в изделии 2 % (об.) также наблюдается снижение числа жизнеспособных клеток, однако эффект выражен слабее. Это может быть связано с разностью в типе смешения компонентов.

Таблица 1 – Результаты исследования антимикробный свойств композитов

№	Образец мембраны	Тип смешения	Конц. ХГ в СП, %	Конц. клеток в исходной пробе	I	II	III	IV	V
1	Без ХГ	–	0	$0,9 \times 10^6$					
2	Дезин	Масс.	1,71	$0,9 \times 10^6$					
3	Дезин	Об.	2	$0,9 \times 10^6$					
4	Сухой концентрат	Масс.	1,71	$0,9 \times 10^6$					
5	Сухой концентрат	Масс.	3,39	$0,9 \times 10^6$					

Композиции с сухим хлоргексидином демонстрируют менее выраженное антимикробное действие. При концентрации 1,71 % отмечается частичное снижение количества клеток — примерно на 60 – 70 % от

исходного уровня. Увеличение содержания до 3,39 % не приводит к усилению эффекта.

Полученные результаты показывают, что на антимикробные свойства стеклопластика влияет не только содержание хлоргексидина, но и форма его введения. Применение раствора обеспечивает более равномерное распределение вещества в материале и более выраженное действие. Сухая форма характеризуется меньшей эффективностью, что связано с особенностями распределения антисептика.

Таким образом, использование хлоргексидина в виде 20% водного раствора («Дезин») является более эффективным способом получения стеклопластиков с антимикробными свойствами. Полученные результаты могут быть использованы при разработке медицинских материалов с улучшенными характеристиками безопасности.

Список литературы

1. **Галимзянова, Р. Ю.** Современные композиционные материалы в производстве медицинской техники : учебное пособие / Р. Ю. Галимзянова. – Казань : КНИТУ, 2021. – 89 с.
2. **Тюбаева, П. М.** Нетканые волокнистые материалы с антисептическими свойствами : специальность 02.00.06 "Высокомолекулярные соединения" : диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Тюбаева Полина Михайловна ; Российская академия наук. – Москва, 2020. – 152 с.
3. **Квашнина, Д. В.** Оценка применения хлоргексидина как антисептического средства / Д. В. Квашнина, О. В. Ковалишена // Медицинский альманах. – 2016. – № 3. – С. 62–66.

Мещеряков А.А., Шабиев Ф.К.

Тюменский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ГЕЛИРОВАНИЯ ЗОЛЯ SiO_2 В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ МИКРОКАНАЛЕ С ПРИСТЕНОЧНЫМ НАГРЕВОМ

Нанесение тонких покрытий SiO_2 на внутренние поверхности микроканалов является перспективным методом модификации пористых моделей пласта, применяемых в задачах нефтегазовой фильтрации. Золь-гель синтез на основе тетраэтоксисилана (TEOS) позволяет формировать покрытие заданной толщины непосредственно внутри канала, напечатанном из фотополимерной смолы, путём заполнения его золем с последующим иницированием гелирования. Ключевым фактором

управления процессом является локальный нагрев стенки: повышение температуры ускоряет гидролиз и конденсацию TEOS, смещая фронт гелирования в радиальном направлении. Вместе с тем пространственно-временная неоднородность гелирования в условиях радиального теплового потока при статичном золе остаётся слабоизученной. Цель настоящей работы - сформулировать математическую постановку задачи нестационарного гелирования золя SiO_2 в цилиндрическом микроканале с пристеночным нагревом и обозначить подход к её численному решению.

Рассматривается осесимметричная геометрия: цилиндрический канал радиуса R и длины L , заполненный статичным золем TEOS. Поскольку перенос вещества конвекцией отсутствует, а геометрия осесимметрична, задача сводится к одномерной нестационарной задаче в радиальной координате: $r \in [0, R]$, $t > 0$. Процесс описывается двусторонне связанной системой двух уравнений: температура влияет на скорость реакции через экспоненту Аррениуса, а реакция возвращает тепло в температурное поле через тепловой эффект.

Уравнение теплопереноса в цилиндрических координатах с учётом теплопроводности и теплового эффекта реакции:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \Delta H \rho \frac{\partial \alpha}{\partial t},$$

где ρ — плотность золя, c_p — его теплоёмкость, λ — коэффициент теплопроводности, ΔH — удельный тепловой эффект реакции гелирования. По мере гелирования теплофизические свойства среды изменяются, однако в первом приближении принимаются постоянными.

Кинетика гелирования описывается через локальную степень конверсии $\alpha(r, t)$, отражающую долю прореагировавших силанольных групп:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) (1 - \alpha)^n,$$

где A — предэкспоненциальный множитель, E_a — энергия активации, R — универсальная газовая постоянная, n — порядок реакции. Уравнение связано с тепловым через температуру $T(r, t)$, определяемую из первого уравнения системы.

Переход золя в гелеобразное состояние фиксируется при достижении критической степени конверсии α_{gel} . Вязкость среды описывается соотношением:

$$\eta(\alpha) = \eta_0 \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_{gel}}\right)^{-k},$$

где η_0 — начальная вязкость золя, k — эмпирический показатель. При $\alpha \rightarrow \alpha_{\text{gel}}$ вязкость неограниченно возрастает, что соответствует формированию геля у стенки канала — месте наиболее интенсивного нагрева.

Граничные условия. На стенке канала ($r=R$) задаётся постоянный тепловой поток: $-\lambda \partial T / \partial r = q_{\text{стенка}}$. На оси симметрии ($r=0$) выполняется условие симметрии: $\partial T / \partial r = 0$.

Начальные условия ($t=0$): золь заполняет канал при однородной температуре $T(r, 0) = T_0$ и нулевой степени конверсии $\alpha(r, 0) = 0$.

Сформулированная система из двух двусторонне связанных уравнений описывает нестационарную эволюцию температурного поля и кинетики конденсации TEOS в статичном золе. Одномерная (по r) постановка существенно упрощает численную реализацию по сравнению с задачей течения и допускает решение методом конечных разностей или конечных элементов, в том числе средствами COMSOL Multiphysics. Результатом моделирования является радиальный профиль фронта гелирования $\alpha(r, t)$, позволяющий оптимизировать режим нагрева стенки для равномерного SiO₂-покрытия микроканала.

Список литературы

1. Мещеряков, А. А. Применение аддитивных технологий для воспроизведения физической структуры ядра и валидации численных расчетов / А. А. Мещеряков, Ф. К. Шабиев // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2025. – Т. 11, № 2 (42). – С. 71–91.
2. Мещеряков, А. А. Технология производства пористых структур аддитивным способом / А. А. Мещеряков // Трансформация нефтегазового комплекса 2030 : тезисы докладов Всероссийской конференции «XI Школа-семинар молодых учёных по теплофизике и механике многофазных систем» (22–25 мая 2024 г., Тюмень, Россия) / отв. ред. Б. В. Григорьев ; сост. А. П. Садыкова. – Тюмень, 2024. – EDN: YDNWKF.

Мусихина А.С., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ НА ТОЛЩИНУ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПИН-КОУТИНГА

Метод спин-коутинга является одним из наиболее эффективных способов получения тонких полимерных пленок с контролируемой толщиной и упорядоченно структурой. В отличие от традиционного свободного литья, где толщина определяется главным образом концентрацией раствора, методом спин-коутинга можно дополнительно регулировать толщину за счет изменения скорости формования [1]. Это делает метод удобным и эффективным для создания полимерных и композитных покрытий для медицины, электроники, оптики и т.д. [2].

В данной работе исследовано влияние угловой скорости на толщину пленок из полиакрилонитрила (ПАН), поливинилового спирта (ПВС) и фторопласта Ф-42В, а также композитных пленок на основе данных полимеров, содержащих 0,1 масс. % графена.

Формование осуществляли на установке Spin Coater HANSUN SP4 на стеклянных подложках размером 7x7 см и соответственно площадью 49 см². Объем раствора составлял 4 мл, время вращения подложки при заданной скорости – 60 с. Скорость формования (вращения подложки) варьировали от 200 до 5500 об/мин, что соответствует угловым скоростям от 21 до 575 рад/с. Растворы ПАН (10 масс. %) готовили в диметилформамиде, ПВС (10 масс. %) в воде и Ф-42В (5 масс. %) – в ацетоне [3]. Для композитных пленок, суспензию графена предварительно диспергировали в соответствующем растворителе с помощью ультразвукового гомогенизатора. Толщину полученных пленок измеряли цифровым микрометром.

Установлено, что толщина всех исследованных пленок уменьшается с увеличением угловой скорости. Для полимерных пленок диапазон скоростей ограничен и минимальная толщина составила 5,2±0,5 мкм для ПАН и 2,9±0,7 мкм для Ф-42В при угловой скорости 105 рад/с и 3,2±0,8 мкм для ПВС при угловой скорости 157 рад/с.

Введение 0,1 масс. % графена существенно расширило технологические возможности метода. Для композитных пленок на основе ПАН, Ф-42В и ПВС максимальная угловая скорость составила 575, 315 и 200 рад/с соответственно, а толщина снизилась до 4,5±0,8, 2,5±0,8 и 3,9±0,7 мкм соответственно. При этом минимальная толщина композитных пленок оказалась на 15 – 20 % меньше, чем у полимерных аналогов, полученных при предельных скоростях.

Анализ полученных зависимостей показывает, что толщина композитных пленок обратно пропорциональна угловой скорости вращения подложки, что согласуется с классическими представлениями о механизме спин-коутинга. С увеличением скорости возрастают центробежные силы, действующие на раствор и суспензию, что приводит к более интенсивному растеканию раствора полимера по поверхности подложки и удалению избытка раствора. При этом вязкость суспензий увеличивается по мере

испарения растворителя, и процесс формирования пленки завершается, когда силы вязкого трения уравнивают центробежные силы. Введение наночастиц графена, обладающих высокой удельной поверхностью, изменяет реологические свойства системы, снижая вязкость суспензии. Это позволяет достигать более высоких угловых скоростей формования и получать пленки меньшей толщины по сравнению с ненаполненными полимерными аналогами.

Таким образом, установлено, что регулирование угловой скорости вращения подложки в диапазоне от 21 до 575 рад/с позволяет контролировать толщину полимерных и композитных пленок в интервале от 2,5 до 31,8 мкм, а введение 0,1 масс. % графена снижает минимальную достижимую толщину на 15–20 % и расширяет рабочий диапазон скоростей более чем в 3 раза.

Список литературы

1. **Фарус, О. А.** Биоразлагаемые пленочные материалы на основе гидрогелей полимеров и наночастиц серебра // Наноиндустрия. – 2022. – Т. 15. – № 3-4. – С. 196–203.
2. **Холтураев, Б. Ж.** Гемостатические пленки на основе карбоксиметилцеллюлозы / Б. Ж. Холтураев, А. А. Атаханов, А. А. Сарымсаков // Universum: химия и биология. – 2021. – № 9 (87). – С. 50–55.
3. **Мусихина, А. С.** Получение тонких полимерных пленок методом spin coating / А. С. Мусихина, В. В. Марценюк, О. В. Асташкина // Актуальные вопросы современной науки, технологии и образования. Сборник статей III Международной научно-технической конференции. – Энгельс, 2024. – С. 43–48.

Одинцов А.С., Кулакова В.А., Владимирцева Е.Л.

Ивановский государственный химико-технологический университет

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ НИТЕЙ КОМПОЗИЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА

Полипропиленовые (ПП) волокна и нити занимают устойчивую позицию на рынке текстильных материалов благодаря уникальному комплексу эксплуатационных свойств, таких как высокая механическая прочность, легкость, ценовая доступность и пр. Материал демонстрирует устойчивость к разрыву и истиранию, что обеспечивает длительный срок службы изделий. Но, вместе с тем, полипропиленовые материалы имеют ряд существенных недостатков, как общих для ПП, так и специфических для нитевой формы. К основным из них относятся Низкая гигроскопичность и

следовательно, невосприимчивость к красителям, чувствительность к инсоляции, низкая термостойкость, легкая электризуемость и т.д.

Целенаправленная модификация полипропиленовых нитей открывает широкие возможности для расширения их применения — от бытового текстиля (одежда, домашний текстиль) до высокотехнологичных технических материалов (геотекстиль, фильтры, композиты, медицинские изделия).

Проблема улучшения эксплуатационных свойств ПП волокон традиционно решается путем введения на стадии их производства в расплав различных добавок. К ним могут относиться пигменты и красители, светостабилизаторы, антипирены, антиоксиданты и др. Однако существующие методы не всегда позволяют достичь комплексного улучшения свойств, особенно в части повышения теплоёмкости без ущерба для прочности.

Для решения этой задачи создана инновационная композиция, включающая порошок на основе оксида графена, обладающий высокой теплоёмкостью и теплопроводностью в сочетании со стеариновой кислотой. Высокая теплоёмкость композиции позволит увеличить это свойство у готовой нити, а особая структура способствует повышению пластичности и гарантирует сохранение прочностных характеристик полимера.

Чтобы модификаторы сохранили свои свойства при расплавлении с ПП и вытягивании через фильеры, они покрываются защитной оболочкой на основе глиоксаля и мочевины. В результате формируется сложная капсулированная структура: ядро - оксид графена и стеариновая кислота, оболочка – сетчатый полимер, сформированный в щелочной среде из глиоксаля и мочевины.

Полимерная оболочка не только защищает модификаторы от разложения при высоких температурах, одновременно она обеспечивает их равномерное распределение в полипропиленовой матрице. Кроме того, ее присутствие за счёт образования водородных связей значительно повышает адгезию к макромолекулам ПП.

Испытания модифицированных ПП нитей показали, что введение разработанной композиции в полипропилен на 15–20% обеспечивает повышение его прочностных характеристик за счёт армирующего эффекта оксида графена и одновременно, благодаря высокой теплоаккумулирующей способности графенового компонента и стеариновой кислоты, на 25–30% увеличивает теплоёмкость продукта при сохранении его упруго-эластических свойств.

При этом все остальные характеристики полипропиленовой нити (плотность, устойчивость к УФ-излучению, химическая стойкость и пр.) полностью соответствуют действующим нормативам [1].

Список литературы:

1. ГОСТ ISO 2076:2015, IDT. Материалы текстильные. Химические

волокна. Общие наименования = Textiles. Man-made fibres. Generic names : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 июня 2015 г. N 47-2015 : введен впервые : дата введения 2017-07-01 / разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 412 «Текстиль», Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (ОАО «ВНИИС») - Москва : Стандартинформ, 2016.

Панов Ю.Т., Мухамеджанов М.Р.

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Полимерные материалы на основе вторичного полиэтилена сложные многокомпонентные системы, свойства которых формируются под влиянием структуры матрицы, так и взаимодействия компонентов. В условиях эксплуатации такие материалы подвергаются механическим нагрузкам различного характера, что требует оценки их поведения при деформировании во времени.

В данной работе рассматривается композиция на основе вторичного полиэтилена низкого давления с добавлением линейного полиэтилена в виде отходов производства стретч-плёнки. Для эксперимента было подготовлено несколько композиций с содержанием плёнки 10, 20, 30 и 50 %. В ходе эксперимента были вычислены средние показатели механических свойств при скорости растяжения 20 мм/мин, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на растяжение

Содержание плёнки, %	Прочность при растяжении (σ_{pm}), МПа	Предел текучести при растяжении (σ_{pt}), МПа	Прочность при разрыве (σ_{pp}), МПа	Относительное удлинение (ϵ_{pp}), %
50	16,93	12,7	5,67	1498
30	18,65	15,61	3,6	1269
20	14,32	14,32	4,33	406
10	14,27	14,27	4,79	328

Так же для образца с содержанием плёнки 20% была проведена статистическая обработка результатов, изложенная в таблице 2. При оценке

пределов доверительности использовалось распределение Стьюдента при числе степеней свободы 20 и доверительном уровне 95%.

Таблица 2 – Статистическая обработка результатов эксперимента.

Прочность при растяжении (σ_{pm}), МПа	Предел текучести при растяжении (σ_{pt}), МПа	Прочность при разрыве (σ_{pp}), МПа	Относительное удлинение (ϵ_{pp}), %
13,89±0,34	13,76±0,35	2,50±0,87	885±266

Из таблицы 2 видно, что вычисление относительного удлинения при изучении композиций на основе вторичных полимеров затруднительно, об этом сигнализирует внушительные пределы доверительности этого параметра.

Таким образом, регулирование состава композиции на основе вторичного полиэтилена является эффективным инструментом управления их прочностными характеристиками. Полученные результаты могут быть использованы при разработке материалов с заданными эксплуатационными свойствами.

Список литературы

1. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы – Метод испытания на растяжение = Plastics – Determination of tensile properties : международный стандарт : издание официальное : принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2017 г. № 52) : введён в первые : дата введения 2018-10-1 / подготовлен Акционерным обществом «Институт пластмасс имени Г.С. Петрова». - Москва : Стандартинформ, 2018.
2. Спутник химика физико-химические свойства, методики, библиография / А. Гордон, Р. Форд ; М. : МИР, 1976. – 541 с.

Панузин К.И., Новожилова Е.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

ЭЛЕКТРЕТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ПОЛИПРОПИЛЕНА С Ti- И Cr- СОДЕРЖАЩИМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Электреты – диэлектрические материалы, способные длительное время (от нескольких суток до нескольких лет) сохранять поляризацию или заряд после воздействия на них внешнего электрического поля и

самостоятельно создающие в окружающем пространстве квазипостоянное электрическое поле. На стабильность электретных характеристик полимерных диэлектриков может оказывать влияние их химическая природа, наличие различных наполнителей в объеме полимерных пленок и поверхностное состояние образцов. Известно, что для стабилизации электретного состояния неполярных полимерных материалов эффективно химическое модифицирование их поверхности элементоксидными наноструктурами с использованием принципов технологии молекулярного наслаивания (МН) [1].

В рамках исследовательской работы были изучены электретные свойства и смачиваемость пленок полипропилена (ПП), модифицированных титан- и хромоксидными структурами с применением принципов МН в установке проточного типа при температуре 80 °С. Полимерные пленки обрабатывали парами $TiCl_4$ и H_2O (образец ПП-Ti), CrO_2Cl_2 и H_2O (ПП-Cr), а также провели синтез образцов с двухкомпонентными элементоксидными системами, различающихся последовательностью введения элементов-модификаторов (ПП-Ti-Cr и ПП-Cr-Ti).

Элементный состав полученных композитов исследовали с применением рентгенофлуоресцентного анализа. Смачиваемость образцов оценивали по изменению краевого угла смачивания поверхности пленок водой. Исследование электретных свойств композиционных материалов осуществляли методом термостимулированной релаксации поверхностного потенциала (ТСРПП), для предварительного электретирования пленки обрабатывали в коронном разряде в течение 1 минуты до начального потенциала $V_0 = +1000$ В. О повышении термостабильности электретного заряда модифицированных пленок судили по значениям температуры начала спада заряда ($T^{0,99}$) и температуры полуспада заряда, при которой значение $V/V_0 = 0,5$ ($T^{0,5}$).

Установлено, что прививка одиночных титан- и хромоксидных структур к поверхности полипропиленовых пленок (ПП-Ti и ПП-Cr) способствует существенному повышению их гидрофобности – краевой угол смачивания водой для однокомпонентных образцов увеличивается на ~30-40°, однако у образцов с двухкомпонентными системами повышение гидрофобности происходит менее интенсивно – значения краевого угла смачивания водой для пленок ПП-Ti-Cr и ПП-Cr-Ti увеличиваются на ~20°.

Выявлено, что прививка титаноксидных структур к поверхности пленок ПП способствует повышению термостабильности их электретного заряда – $T^{0,99}$ увеличивается на 20°С, а $T^{0,5}$ – на 25°С по сравнению с немодифицированной пленкой. По-видимому, это связано с образованием

высокоэнергетических центров захвата электретажного заряда, представленных титаноксидными группами, и одновременным повышением гидрофобности титансодержащих образцов – это препятствует активной сорбции молекул воды на поверхности пленок, которая может являться причиной увеличения их поверхностной электропроводности и, как следствие, негативно влиять на их электретажные свойства. При этом хромсодержащие структуры, как в однокомпонентных, так и в двухкомпонентных системах, напротив, способствуют снижению стабильности электретажного состояния полученных композитов. Можно предположить, что в процессе обработки полимера парами CrO_2Cl_2 происходит частичное растравливание поверхности пленок с образованием большого количества химических и физических дефектов, которые потенциально могут являться низкоэнергетическими ловушками, неспособными эффективно удерживать носители электретажного заряда.

Список литературы

1. **Малыгин, А. А.** Структурно-размерные эффекты и их применение в системах «ядро-нанооболочка», синтезированных методом молекулярного наслаивания / А. А. Малыгин, А. А. Малков, Е. А. Соснов // Известия академии наук. Серия химическая. – 2017. №11. С. 1939–1962.

Пасько К.С., Дианкина Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СОЗДАНИЕ ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФИЛАМЕНТА ИЗ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Проблема утилизации полимерных отходов приобретает особую остроту в связи с непрерывным ростом объемов потребления пластика и их негативным воздействием на окружающую среду. Ежегодно в мире производится более 400 миллионов тонн пластика, значительная часть которого после использования попадает на свалки или в мировой океан. Вторичная переработка полимеров имеет не только большое экологическое, но и экономическое значение, позволяя возвращать ценные материалы в производственный цикл. Одним из наиболее перспективных направлений рециклинга является получение филамента для 3D-печати из вторичных

полимеров, что создает замкнутый цикл использования материалов и снижает себестоимость аддитивного производства.

Создание экструдера для переработки вторичных полимеров требует учета некоторых особенностей. В отличие от первичного сырья, вторичные полимеры характеризуются нестабильностью свойств, наличием загрязнений и возможной деструкцией макромолекул в процессе предшествующей эксплуатации. В связи с этим конструкция экструдера должна обеспечивать эффективное смешение, гомогенизацию расплава и возможность введения модифицирующих добавок, улучшающих качество конечного продукта. Качественная переработка вторичного сырья методом экструзии позволяет получить востребованный продукт в виде филамента для 3D-печати, а разработка компактных перерабатывающих комплексов требует всестороннего анализа технологии и особенностей организации производства.

Принцип работы экструдера для производства филамента включает несколько последовательных стадий: загрузка измельченного пластика в бункер, транспортировка материала шнеком, плавление в нагревательной камере, гомогенизация расплава и формование нити через фильеру. Ключевым элементом конструкции является шнек, который должен изготавливаться из прочной стали с высокой теплопроводностью, поскольку рабочие температуры достигают 300 °С. Важную роль играет система терморегулирования, позволяющая поддерживать оптимальную температуру для различных типов полимеров.

Система охлаждения является критически важным узлом экструдера. Горячая нить после выхода из фильеры должна быть охлаждена для фиксации геометрических размеров. Применяются два основных типа охлаждения: жидкостное (водяное) и воздушное. Воздушное охлаждение с помощью вентиляторов является наиболее распространенным благодаря простоте реализации и достаточной эффективности.

Анализ литературных данных показывает, что оптимальные параметры экструзии существенно зависят от типа перерабатываемого полимера. Для полиэтилена высокой плотности (HDPE) качественный филамент получается при температуре 200 °С; при более низких температурах расплав прилипает к стенкам цилиндра, а при более высоких происходит термическая деструкция материала.

Для разных материалов требуются разные параметры экструзии, однако создание экструдера для производства филамента из вторичных полимеров, а не покупка готового экструдера, позволяет учитывать эти особенности.

Переход М.С., Петрова Д.А., Джуама С.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕКСТИЛЬНОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА

В условиях ежегодного роста объемов синтетических текстильных отходов, в частности изделий из полиакрилонитрила (ПАН), разработка эффективных способов вторичной переработки с получением функциональных материалов является актуальной научно-технической задачей. Одним из перспективных направлений утилизации вторичного ПАН может служить создание на его основе полимерного связующего и последующее формование композиционных материалов с волокнистыми наполнителями, в том числе из вторичного хлопка. В настоящей работе систематически исследованы и сопоставлены три технологических подхода к получению бумагоподобных композитов на основе связующего из вторичного ПАН и смешанного наполнителя, состоящего из измельченных ПАН-волокон и хлопчатобумажной ткани. Целью исследования являлось не только установление возможности формования таких материалов, но и выявление влияния режимов термообработки и коагуляции на конечные характеристики и геометрическую стабильность образцов.

В качестве исходного сырья для приготовления связующего использовали вторичную акриловую пряжу, представляющую собой отходы готовых текстильных изделий. Растворение полимера осуществляли в диметилформамиде (ДМФА) при температуре 40-50 °С в условиях непрерывного перемешивания. Было установлено, что использование 10 %-го раствора ПАН в ДМФА является технологически предпочтительным по сравнению с максимально достижимой концентрацией 12 %, поскольку обеспечивает более низкую вязкость и лучшую смачивающую способность по отношению к хлопковым волокнам, что подтверждено экспериментами по измерению диаметра растекания капель. Наполнители готовили путем механического измельчения вторичной хлопчатобумажной ткани и той же акриловой пряжи до получения дискретных волокон. Волокнистые компоненты смешивали в различных массовых соотношениях, варьируя содержание ПАН-волокон в диапазоне от 20 до 50 % по массе, после чего полученную смесь тщательно пропитывали 10 %-м раствором связующего до равномерного распределения полимерной фазы по всему объему волокнистой массы.

Непосредственно формование бумагоподобных композитов проводили с использованием трех принципиально различных технологических схем. Первый метод заключался в горячем прессовании пропитанной волокнистой массы при температуре 150 °С и давлении 100 МПа в течение 10 минут с последующей стадией коагуляции в дистиллированной воде. Данный подход обеспечивает наиболее плотную упаковку волокон, частичное спекание ПАН-волокон за счет термического воздействия и интенсивное осаждение полимерного связующего на поверхности наполнителя при контакте с водой, что способствует формированию жесткой и монолитной структуры. Второй метод основывался на ручной выкладке пропитанной смеси в форму и последующей естественной сушке на воздухе при комнатной температуре в течение 24 часов без применения коагуляции. Медленное испарение растворителя при отсутствии внешнего давления и термического воздействия позволяет макромолекулам матрицы релаксировать, в результате чего получаемый материал приобретает выраженную мягкость и эластичность. Третий метод также предполагал ручную выкладку, однако сушку осуществляли в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение одного часа, также без стадии коагуляции. Ускоренное термическое удаление ДМФА вызывает более интенсивную усадку полимерной матрицы и сближение полимерных цепей, что приводит к некоторому повышению жесткости по сравнению с образцами, высушенными на воздухе, однако не вызывает того перехода к хрупкому и твердому состоянию, которое наблюдается при горячем прессовании с коагуляцией.

Экспериментально установлено, что для всех трех методов формования наиболее качественные образцы, характеризующиеся целостной структурой, отсутствием расслоений и равномерным распределением компонентов, были получены при массовой доле измельченных ПАН-волокон 40 и 50 %. Расчетное содержание общей волокнистой фазы в готовых композитах варьировалось от 67,9 до 77,8 % в зависимости от метода, что свидетельствует об эффективной фиксации наполнителя связующим. Сравнительный анализ механического поведения образцов показал, что метод горячего прессования с коагуляцией формирует жесткие и твердые образцы с высокой плотностью, в то время как ручная выкладка с воздушной сушкой позволяет получить мягкие и гибкие композиционные материалы. Термосушка занимает промежуточное положение: материал сохраняет заметную гибкость, но становится более жестким по сравнению с воздушной сушкой вследствие ускоренной усадки матрицы. Дополнительно выявлено, что варьирование соотношения хлопковых и ПАН-волокон в составе наполнителя позволяет регулировать деформационные свойства композита: увеличение доли хлопка

способствует повышению жесткости и склонности к хрупкому разрушению, тогда как рост содержания ПАН-волокон придает материалу эластичность.

Таким образом, в работе проведено систематическое сопоставление трех технологических методов получения бумагоподобных композитов на основе вторичного ПАН и хлопка с использованием раствора ПАН в ДМФА в качестве связующего. Показано, что выбор режима формования является определяющим фактором для достижения требуемого баланса жесткости и эластичности конечного материала. Дальнейшие исследования будут направлены на исследования физико-механических характеристик, включая прочность при растяжении и изгибе, водопоглощение, устойчивость к истиранию и биоразложение, а также на оптимизацию составов для определения конкретных практических областей применения.

Перфильева Е.А., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе термореактивных связующих используют во множестве отраслей, таких как: авиастроение, машиностроение, военная промышленность, энергетика. Лимитирующей стадией получения таких ПКМ является процесс отверждения. Его можно интенсифицировать различными способами, например, нагревание, введение химических реактивов [1]. При модифицировании связующего наночастицами также происходит ускорение или замедление отверждения, а для их равномерного распределения чаще всего применяют ультразвуковую обработку, которая также оказывает влияние на процесс отверждения [2].

В данной работе определяли характеристические значения температур кинетики отверждения по ГОСТ Р 56755-2015 эпоксидной смолы марки ЭД-20 и полиэфирной смолы марки ОР 215. Для отверждения эпоксидной смолы использовали полиэтиленполиамин в соотношении 10к1, а для полиэфирной смолы отвердитель Акрегех А-60 в соотношении 100к1. В качестве наполнителей использовали технический углерод марки Printex ХЕ2-В, углеродные нанотрубки марки TUBALL и малослойные графены.

В таблице 1 представлены полученные характеристические значения.

Таблица 1 – Характеристические значения температур и соответствующая продолжительность кинетики отверждения для ПКМ различного состава на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20

Эпоксидная смола	T_n , °C	τ , мин	$T_{эн}$, °C	τ , мин	T_c , °C	τ , мин	$T_{эк}$, °C	τ , мин	T_k , °C	τ , мин		
Без наполнителя	28	6	64	27	127	34	44	77	27	115		
Без наполнителя, с УЗ обработкой	27	0	46	5	121	16	38	62	27	90		
ТУ	масс. %	0,10	27	1	36	17	66	44	36	104	27	125
		0,05	27	4	43	38	105	54	34	100	25	120
УНТ	масс. %	0,10	27	4	47	25	99	44	38	85	27	120
		0,05	27	6	36	28	75	56	29	110	25	123
Графен	масс. %	0,10	28	2	50	33	108	46	41	86	27	124
		0,05	27	4	33	27	65	68	27	118	25	130

Из полученных данных (таблица 1) следует, что все углеродные нанонаполнители, введенные в количестве 0,05 и 0,10 масс. % в эпоксидное связующее снижают максимальную температуру отверждения и увеличивают продолжительность отверждения.

В таблице 2 представлены аналогичные характеристики кинетики отверждения полиэфирной смолы.

Таблица 2 – Характеристические значения температур и соответствующая продолжительность кинетики отверждения для ПКМ различного состава на основе полиэфирной смолы

Полиэфирная смола	T_n , °C	τ , мин	$T_{эн}$, °C	τ , мин	T_c , °C	τ , мин	$T_{эк}$, °C	τ , мин	T_k , °C	τ , мин		
Без наполнителя	24	28	33	42	92	54	33	94	27	110		
Без наполнителя, с УЗ обработкой	24	2	31	32	95	45	34	84	27	95		
ТУ	масс. %	0,10	24	32	30	44	84	65	29	110	25	120
		0,05	24	0	34	34	90	49	33	96	26	110
УНТ	масс. %	0,10	23	16	26	24	70	50	29	88	25	95
		0,05	24	0	32	30	81	48	30	96	27	110
Графен	масс. %	0,10	23	34	28	40	97	55	30	86	25	105
		0,05	24	0	33	31	102	43	33	90	27	100

Из таблицы 2 видно, что максимальные температуры отверждения (пики) увеличились у связующих, модифицированных графенами в количествах 0,05 и 0,10 масс. % и равны 102 и 97 °C соответственно. При этом продолжительность отверждения уменьшилась в сравнении с ненаполненным связующим без ультразвуковой обработки. При введении 0,10 масс. % УНТ экзотермический пик отверждения и продолжительность

отверждения снижаются больше всего в сравнении с другими углеродными нанонаполнителями.

На основании чего можно сделать вывод о том, что ультразвуковая обработка связующего интенсифицирует (ускоряет) процесс отверждения, а введение углеродных наночастиц снижает температуру экзотермической реакции и увеличивает продолжительность отверждения.

Список литературы

1. **Морозов, С. В.** Исследование влияния состава эпоксидного связующего на его физико-механические характеристики / С. В. Морозов, Н. А. Павлов, М. Н. Зенин // Ползуновский вестник. – 2020. – №1. – С.140–144.
2. **Пестренин, В. М.** Влияние нарушения стехиометрии, УФ- и γ -облучения на вязкоупругие свойства эпоксидного связующего / В. М. Пестренин, И. В. Пестренина, Л. В. Ландик и др. // Вестник Томского Государственного университета. Математика и механика. – 2025. – №. 95. – С. 107–123.

Поляков И.В., Ваганов Г.В., Иванькова Е.М., Попова Е.Н., Елоховский В.Ю., Диденко А.Л., Юдин В.Е.

Филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» - Институт высокомолекулярных соединений

РАЗРАБОТКА ПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ ДЛЯ 3Д-ПЕЧАТИ

В современной промышленности, охватывающей авиакосмический, медицинский и электронный секторы, наблюдается активное внедрение аддитивных технологий. Наиболее востребованным методом является послойное наплавление термопластичной нити (FDM). Однако широкое применение данной технологии сдерживается тем, что прочностные характеристики напечатанных изделий зачастую уступают показателям деталей, изготовленных традиционными методами. Эффективным решением данной проблемы является использование высокопрочных термостойких полимеров, в частности полиимидов, и разработка композитов на их основе.

В исследовании в качестве полимерной матрицы был использован частично кристаллический полиимид Р-ОДФО, синтезируемый в Филиал НИЦ "Курчатовский институт" - ПИЯФ - ИВС, с температурой стеклования около 200 °С и температурой плавления ~330 °С. Для модификации

полимера применялись два типа наполнителей: углеродные нанотрубки VGCF (Pyrograf®-III, США) с диаметром ~100 нм и дискретные углеродные волокна (Umatex, Россия) диаметром ~7 мкм.

Технологический процесс включал стадию гомогенизации углеродных наполнителей в расплаве полиимида с последующим гранулированием и экструзией филаментов, которые затем использовались для печати образцов на экспериментальном высокотемпературном FDM-принтере.

Комплексный анализ реологических, термических и механических свойств позволил выявить оптимальные концентрации углеродных наполнителей: 1 мас.% для наночастиц и 20 мас.% для дискретных волокон. Установлено, что введение 1 мас.% VGCF способствует более чем двукратному снижению пористости напечатанных изделий и трехкратному росту относительного удлинения при разрыве в сравнении с чистой матрицей. При наполнении дискретными волокнами в объеме 20 мас.% фиксируется значительное упрочнение — предел прочности достигает 135 МПа, а модуль упругости — 6,4 ГПа.

Таким образом, направленное варьирование наполнителей потенциально позволяет достигать необходимых деформационно-прочностных показателей, что открывает перед данными композитами широкие перспективы промышленного применения.

Список литературы

1. **Penumakala, P. K.** A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites / J. Santo, A. Thomas // *Composites Part B: Engineering*. – 2020. Vol. 201. P. 108336.
2. **Pratama, J.** A Review on Reinforcement Methods for Polymeric Materials Processed Using Fused Filament Fabrication (FFF) / S.I. Cahyono, S. Suyitno, M.A. Muflikhun, U.A. Salim, M. Mahardika, B. Arifvianto // *Polymers*. – 2021. Vol. 13. P. 4022.
3. **Vaganov, G.** Development of new polyimide powder for selective laser sintering / A. Didenko, E. Ivan'kova, E. Popova, V. Yudin, V. Elokhovskii, I. Lasota // *Journal of Materials Research*. – 2019. Vol. 34. P. 2895–2902.

Прохорова А.Е., Кузнецов А.Ю., Ширшова Е.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**НАПОЛНЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИНИЛОВОГО СПИРТА**

Пористые композиты на основе ПВС представляют собой сшитые полимерные структуры, перспективные для использования в качестве влагоудерживающих агентов и компонентов искусственных почв. Такие материалы характеризуются развитой системой пор, что обеспечивает корневую аэрацию и доступ растений к влаге. Одними из ключевых параметров, определяющими пригодность композитов для почвенного применения, являются усадка и кажущаяся плотность, отражающая суммарный объем всех пор. Чем ниже усадка, тем более равномерной и стабильной получается структура.

В работе исследовали влияние степени наполнения опилками (10, 20, 30 и 40 масс. %) на усадку и кажущуюся плотность пористых композитов на основе ПВС. Образцы изготавливали следующим образом: в 11 % раствор ПВС вводили 3 % альгинат натрия, формалин, ПАВ ОП-10, изопропиловый спирт и 1 Н серную кислоту, затем гомогенизировали в течение 10 мин на верхнеприводной лабораторной мешалке. В полученную смесь добавляли древесные опилки в заданном массовом соотношении, перемешивали, заливали в формы и подвергали термообработке при 90 °С.

Усадку образцов рассчитывали по изменению объемов между исходными и высушенными образцами. Объем в каждом случае определяли по геометрическим размерам. Кажущуюся плотность находили как отношением массы образца к его объему.

Установлено, что с ростом степени наполнения усадка снижается: для образцов с 10, 20, 30 и 40 масс.% опилок она составила 46, 19,7, 16,4 и 15,8 % соответственно. Наименьшая кажущаяся плотность зафиксирована при степени наполнения 20 масс. % ($0,169 \text{ г/см}^3$), что указывает на максимальную пористость, однако при этом происходит расслоение материала. При наполнении 30 масс. % кажущаяся плотность незначительно возрастает до $0,184 \text{ г/см}^3$, тогда как усадка снижается до 16,4 %, и структура становится однородной. В то же время для степени наполнения 40 %, несмотря на минимальную усадку 15,8 %, кажущаяся плотность резко увеличивается до $0,282 \text{ г/см}^3$, что свидетельствует о чрезмерном уплотнении материала и сокращении порового пространства, необходимого для корневой системы растений. При 30 масс. % наполнения опилками достигается оптимальное соотношение между низкой усадкой и кажущейся плотностью.

Сравнительный анализ показал, что при 10 и 20 % наполнения наблюдаются нестабильные структуры, вызванные усадкой или расслоением, что делает материал неподходящим для применения в качестве искусственного субстрата. При 40 масс. % плотность оказывается слишком высокой и не подходящей для прорастания корней. Оптимальной является степень наполнения 30 масс. %, при которой достигается наилучшее соотношение между низкой усадкой и приемлемой кажущейся

плотностью. Полученные результаты открывают перспективы дальнейшего использования разработанных составов в качестве основы для материалов агротехнического и почвенного назначения.

Пушкарский П.С., Гладунова О.И.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РАДИОПОГЛАЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Радиопоглощающие свойства полимерных композиционных материалов напрямую зависят от формы и структуры поверхности частиц наполнителя и их размера. Поскольку структурная и геометрическая неоднородность поверхности, проявляющаяся в виде микротрещин, пор, шероховатостей и других дефектов, способны увеличивать площадь взаимодействия с электромагнитной волной. Если падающая волна встречает гладкую поверхность, то большая доля энергии может отразиться обратно без проникновения в объем поглотителя. При попадании излучения на поверхность, имеющую более сложное строение, количество отражений уменьшается, и вероятность затухания волны в объеме материала увеличивается, поскольку возникают дополнительные пути для рассеяния энергии или наоборот усиливается эффективность взаимодействия с излучением в широком частотном диапазоне.

Также эффективность радиопоглощения меняется при переходе от микро- к наноразмеру. Основной причиной этого является соотношение поверхности к объёму, которое резко увеличивается при уменьшении размеров частиц до нанометрового диапазона, а также проявление квантово-размерных эффектов, влияющих на электронную структуру вещества [1].

При уменьшении размеров частиц до наноразмеров доля атомов, находящихся на поверхности, существенно возрастает и их энергия (поверхностная энергия Гиббса) значительно выше, чем у атомов в объёме. В макроскопических телах большинство атомов находится в объёме кристаллической решётки, тогда как на наномасштабе поверхностные атомы могут составлять значительную часть всей структуры. Как следствие, повышается реакционная способность частиц, они легче образуют переходные слои с полимерной матрицей, что улучшает согласование волновых сопротивлений. Меняется диэлектрическая проницаемость из-за поляризации поверхностных диполей и дефектов, возникает

дополнительный механизм релаксационной поляризации на границе «частица-матрица» (эффект Максвелла-Вагнера) [2].

Таблица 1 – Исследуемые наполнители и некоторые их свойства

Вид наполнителя	Размер частиц	Диэлектрическая проницаемость (ϵ)	Форма частиц
Ферритовые порошки	5–50 мкм	10–20	Осколочная, угловатая
Карбонильное железо	10–50 мкм	15–25	Сферическая
Графитовые частицы	5–50 мкм	10–15	Пластинчатая (чешуйчатая)
Углеродные нанотрубки	10–100 нм	5–10	Цилиндрические полые структуры

Влияние формы и размера частиц наполнителей на радиопоглощение носит взаимосвязанный характер. Пластинчатые (чешуйчатые) частицы с шероховатой поверхностью и толщиной в десятки нанометров обеспечивают максимальный путь волны внутри композита, игольчатые частицы с наноразмерными трещинами создают анизотропное поглощение, а сферические гладкие частицы дают минимальное поглощение, если только их размер не попадает в резонансную область (плазмонный-резонанс). Для создания радиопоглощающих материалов необходимо целенаправленно создавать частицы с развитой шероховатой поверхностью и контролируемым размером, а также использовать комбинацию смеси частиц разного размера и формы для расширения рабочего частотного диапазона. Регулируя форму, размер и текстуру поверхности частиц, можно целенаправленно воздействовать на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь.

Список литературы

1. **Блинов Л. Н., Перфилова И. Л., Полякова В. В., Семенча А. В., Крылов Н. И.** Нанохимия. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 80 с. — ISBN 978-5-507-46640-5. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань». — URL: <https://e.lanbook.com/book/310012> (дата обращения: 25.04.2026).
2. **Гущина, Е. А.** Моделирование эффекта Максвелла-Вагнера и оценка поляризуемости на границе раздела сред // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1: Естественные науки. — 2025. — Т. 40, вып. 1. — С. 56–63.

Пылаев Д.Р., Чернов О.М., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Изучение токопроводящих полимерных нанокомпозитов с использованием различных наполнителей открывает новые горизонты для создания функциональных материалов, которые могут удовлетворить современные требования к производительности и устойчивости.

Исследования в области токопроводящих полимерных нанокомпозитов являются актуальными по нескольким причинам. Во-первых, современные технологии требуют материалов с улучшенными электрическими и функциональными свойствами для применения в электронике, энергетике и транспорте. Полимерные нанокомпозиты, наполненные наночастицами технического углерода, углеродных нанотрубок, графенов и фуллеренов, могут обладать высокой электропроводностью, улучшенной механической прочностью и теплопроводностью, что делает их перспективными для использования в различных высокотехнологичных устройствах.

Кроме того, растущий спрос на гибкие и прозрачные электронные устройства, такие как дисплеи и сенсоры, требует разработки новых материалов, которые могут сочетать в себе высокие эксплуатационные характеристики и удобство использования. Полимерные нанокомпозиты могут стать основой для создания таких устройств благодаря своим уникальным свойствам.

В работе в качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола KER 828. В качестве наполнителей применялись технический углерод (ТУ) марки П-701 и резаные углеродные волокна (РУВ) на основе графитированной углеродной ткани УРАЛ Т-1 (длина волоконца составляла примерно 2 мм). Степень наполнения составляла 10 % РУВ и 5 % ТУ, 10 % РУВ и 10 % ТУ, 10 % РУВ и 15 % ТУ и 10 % РУВ и 20 % ТУ

Для получения КМ использовались два основных способа. По первому способу наполнители тщательно смешивали со смолой методом механического перемешивания в течение 10 минут, обеспечивая равномерное распределение. Затем, строго соблюдая весовое соотношение 1:10 (отвердитель к смоле), добавляли отвердитель и продолжали смешивание еще 5 минут для достижения однородности. Полученную смесь

аккуратно заливали в форму и оставляли для отверждения при комнатной температуре.

По второму способу наполнитель диспергировали в смоле при помощи ультразвука в течение 5 минут и после добавляли отвердитель и продолжали смешивание еще 1 минуту для достижения однородности. Полученную смесь также как и в первом случае заливали в форму и оставляли для отверждения при комнатной температуре.

На полученных образцах определяли удельное электрическое сопротивление поперек плоскости композита.

Выявлено, что увеличение содержания ТУ во всех случаях приводит к снижению их удельного электросопротивления, а именно: с 8 Ом/см² при степени наполнения 10 % РУВ и 5 % ТУ (при механическом перемешивании) до 4 Ом/см² при степени наполнения 10 % РУВ и 20 % ТУ (при механическом перемешивании) и с 6 Ом/см² при степени наполнения 10 % РУВ и 5 % ТУ (при ультразвуковом перемешивании) до 2 Ом/см² при степени наполнения 10 % РУВ и 20 % ТУ (при ультразвуковом перемешивании).

Уменьшение электрического сопротивления при одинаковых степенях наполнения при ультразвуковом перемешивании связано с более равномерным распределением наполнителей в полимерной матрице и большем количеством «проводящих мостиков».

Румянцев Н.И., Бодалёв И.С., Радул К.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

ТЕРМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ СПЕКАНИИ ТВЕРДОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ

Работа посвящена изучению влияния ванадийоксидных структур, синтезированных на поверхности порошка карбида вольфрама методом молекулярного наслаивания (МН), на тепловые эффекты при спекании твердого сплава.

Порошок карбида вольфрама был модифицирован 5 циклами молекулярного наслаивания оксида ванадия (примерно 0,1 % масс. ванадия) в качестве ингибитора роста зерна и смешан с кобальтом (10 % масс.) и пластификатором (полиэтиленгликоль, 2,2 % масс.). Для получения сравнительной базы были также приготовлены две смеси: одна – без

введения ингибитора роста зерна, вторая – с механически внесенным ингибитором (карбидом ванадия в количестве 1 % масс.).

Термогравиметрический анализ и дифференциальную сканирующую калориметрию полученных смесей проводили в атмосфере аргона со скоростью нагрева образцов, равной 10 °С в минуту, в диапазоне температур от 21 до 1400 °С.

На ДСК образцов явно выражены 4 эндотермических эффекта. Первый, в диапазоне температур от 20 до 100 °С, присутствует на ДСК всех образцов и соответствует испарению адсорбированной образцами влаги.

Второй эффект, в диапазоне температур от 300 до 400 °С, связан с разложением и испарением пластификатора из образцов.

В диапазоне температур от 760 до 890 °С у всех образцов отмечается эндотермический эффект на ДСК, сопровождающийся падением массы, отнесенный к восстановлению оксида вольфрама (VI). Падение массы в связи с этим процессом у образцов с молекулярным наслаиванием больше в сравнении с остальными образцами. Возможно, это связано с каталитической активностью синтезированных на поверхности порошка оксидных структур в процессе окисления карбида вольфрама. После 1000 °С восстановление оксида вольфрама полностью завершается и не оказывает влияния на дальнейший процесс спекания образцов.

В высокотемпературной области (от 1350 до 1380 °С) на ДСК всех образцов наблюдается эндотермический пик, не сопровождающийся падением массы и соответствующий началу плавления системы. Относительно образца на основе исходного порошка максимум образца с МН почти не смещен, тогда как максимум образца с механическим введением соединений ванадия смещен в более низкотемпературную область и уширен, а также имеет меньшую интенсивность. Уширение диапазона плавления системы теоретически может привести к аномальному росту зерна в областях с более низкой температурой плавления.

Таким образом, внесение ингибитора роста зерна методом МН в сравнении с механическим внесением не оказывает негативного влияния на процесс спекания карбида вольфрама.

Сажнев Н.А., Глаголева П.А.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

**СОЗДАНИЕ БИОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЬГИНАТА
НАТРИЯ**

В работе представлено создание биополимерной композиции на основе альгината натрия, предназначенной для использования в аддитивных технологиях. Особую важность представляет контроль реологических характеристик растворов альгината натрия и изучение механизма инициации гелеобразования при использовании регулятора кислотности (глюконо- δ -лактон, GDL), содержащего CaCO_3 и. Рассмотрены требования к оборудованию и описаны технологические параметры 3D-печати. Установлено, что оптимизация состава и вязкостно-упругих параметров системы для печати обеспечивает получение устойчивых материалов с программируемой геометрией.

Развитие аддитивных технологий увеличивает интерес к разработке новых материалов и формовочных композиций с заданными свойствами и возможностью контроля реологических параметров во время 3D-печати [1]. Особенное внимание уделяется природным полимерам, таким как фиброин шелка, альгинат натрия и др. Альгинат натрия популярен за счет способности к ионному сшиванию и формированию на его основе гидрогелей [2]. При применении биополимеров в 3D-печати важным является четкое и детальное понимание процесса приготовления раствора, управление его вязкостью и кинетикой гелеобразования.

Альгинат натрия – это линейный полисахарид, образующий вязкие растворы при низких концентрациях. При приготовлении исходного раствора используются порошкообразный альгинат и дистиллированная вода. В процессе растворения воду нагревают до 35–40 °С и при постоянном перемешивании постепенно добавляют полимер. Вязкость и концентрация раствора зависят от молекулярной массы используемого полимера. Последующей стадией является выдерживание раствора с целью удаления пузырьков воздуха, препятствующих проведению печати.

Для регулирования гелеобразования, готовили 3 % растворы полимера и добавляли GDL в виде мелкодисперсного порошка (1,5 % от массы полимера), выдерживали при перемешивании 10–12 минут, до полного растворения регулятора кислотности, а затем вливали раствор карбоната кальция для проведения «замедленной» ионной сшивки. Механизм такой сшивки представляет собой гидролиз GDL с образованием глюконовой кислоты, что снижает pH среды полимерного раствора. В кислой среде CaCO_3 разрушается с высвобождением ионов Ca^{2+} , которые затем соединяются с карбоксильными группами альгината, образуя ионные «мостики» между цепями. Важной особенностью данного подхода является возможность контроля кинетики гелеобразования за счёт дозировки кальция. При 3D-печати растворами или расплавами полимеров, их высокая вязкость будет препятствовать стабильной экструзии, в то время как низкая вязкость способствует потере формы изделия из-за растекания. Для

растворов альгината характерна псевдопластичность, что упрощает прохождение материала через сопло и стабилизацию структуры после выхода из него.

Была исследована кинетика роста вязкости в формовочных системах на основе альгината натрия в зависимости от содержания карбоната CaCO_3 : 0,5 %; 0,25 %; 0,13 %; 0,06 % и 0,03 % от массы полимера. Из полученных данных выявлено, что добавление GDL и карбоната кальция особенно на поздних стадиях, когда идёт гелеобразование, влияет на реологические свойства системы. Важно подбирать такие условия, чтобы увеличение вязкости происходило после самой экструзии, поэтому наиболее подходящими для формования на 3D-принтере являются системы с содержанием CaCO_3 в диапазоне от 0,06 % до 0,25 % от массы полимера.

Для 3D-печати был сконструирован принтер, где материал подаётся через шприцевую систему (в данном случае, стандартный экструдер замещён шприцевым модулем). Аналогично FDM-печати выдавливается раствор полимера под давлением при помощи пневматического или шнекового насоса со скоростью 0,1–10 мл/ч. Скорость зависит от применяемого полимера, вязкости его растворов и требуемой толщины слоя (обычно 50–500 мкм). После выхода из сопла раствор застывает благодаря «замедленной» сшивке ионами кальция. Перемещая шаговым двигателем сопло по осям X, Y и Z, послойно формируется изделие по разработанной цифровой модели. Далее объект проходит постобработку, которая включает сушку для увеличения прочности и полной элиминации остаточного растворителя.

Таким образом, применение системы альгинат натрия-GDL- CaCO_3 даёт возможность создавать материалы с регулируемым уровнем свойств, а постепенное гелеобразование поддерживает равновесие между сохранением свойств и текучестью системы. Экспериментальным путём доказано, что введение GDL замедляет сшивку ионами кальция, но при повышении концентрации CaCO_3 увеличивается вязкость, что грозит загустением материала в сопле. Изложенные в работе подходы могут быть использованы для получения функциональных материалов, предназначенных для применения в биомедицине и тканевой инженерии.

Список литературы

1. **Bukit B.F. et al.** Review of alginate-based composites for 3D printing material // *Polymers from Renewable Resources*. – 2024. – V.15. – №.2. – P.256 – 277.
2. **Farshidfar N., Iravani S., Varma R.S.** Alginate-based biomaterials in tissue engineering and regenerative medicine // *Marine Drugs*. – 2023. – V.21. – №.3. – P.189.

Саклакова Е.В.¹, Гурьянова Е.А.¹, Асташкина О.В.¹, Безруков А.А.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²АО «Флотенк»

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И МЕТОДОВ МОДИФИКАЦИИ ГРАФЕНОВ

Полимерные композиционные материалы, наполненные наночастицами активно изучаются в связи с широким спектром их потенциального применения, что обусловлено не только их электрофизическими, защитными свойствами, но и возможностью регулировать их механические и функциональные свойства путем подбора наполнителей, вводимых в полимерную матрицу. Одним из перспективных наполнителей является графен. При этом есть проблемы, требующие внимания — дисперсия графенов в полимере склонна к агрегации и седиментации с течением времени.

На первоначальном этапе были изучены свойства графенов различных марок (влажность, рН водной вытяжки, удельное объемное электрическое сопротивление, насыпная плотность, структуру и морфологию поверхности оценивали посредством сканирующей электронной микроскопии) и методы их модификации для улучшения распределения в полимерной матрице. На основании литературных данных [1,2], было проанализировано, что для использования графенов в качестве наполнителей в композиционных материалах, необходима их предварительная обработка. На данном этапе было выбрано два основных направления модификации – окислительная обработка кислотами, и восстановительная высокотемпературная обработка в инертной среде. Предполагается, что окисление улучшит сродство графенов к гидрофильным матрицам, восстановление напротив – делая поверхность гидрофобной должно улучшить распределение в гидрофобных полимерах. После модификации был проведен сравнительный анализ свойств с исходными графенами.

Показано (Таблица 1), что влажность после восстановления для всех образцов увеличивается, в сравнении с исходными материалами. Насыпная плотность меняется незначительно, рН водной вытяжки снижается после модификации. Установлено, что удельное объемное электрическое сопротивление в сильной степени снижается для восстановленных графенов, тогда как модификация окислением, напротив, приводит к ухудшению электрических свойств и увеличению сопротивления.

Таблица 1 – Свойства графенов до и после модификации

Наименование показателя	RG-T1 _{исх/восст/окис}	RG-S1 _{исх/восст/окис}	C-1000 _{исх/восст/окис}	C-1100 _{исх/восст/окис}
Влажность, %	0,12/8,51/4,69	1,27/2,11/5,96	1,44/1,63/3,98	0,13/5,14/0,87
Насыпная плотность, г/см ³	0,08/0,07/0,08	0,20/0,23/0,20	0,14/0,52/0,15	0,70/0,75/0,71
рН водной вытяжки	6,5/6,4/6,2	6,5/6,3/6,2	6,5/6,4/6,0	7,3/6,5/6,1
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	3,62/0,06/27,06	5,84/1,66/190,36	2,39/1,66/7,40	1,27/0,20/1,79

На основании полученных данных, можно сделать вывод, что модификация позволяет улучшить и без того высокие электрические свойства графенов, что позволит им найти широкое применение в качестве токопроводящих наполнителей в композиционных материалах. Предполагается, что это снизит степень наполнения, необходимую для преодоления порога перколяции. Так как ранее проведенные предварительные эксперименты, показали, что для получения электропроводящих композитов с графенами, степень наполнения должна быть 15 % масс. и выше [3].

Список литературы

1. Кулакова, И. И. Химическое модифицирование графена / И. И. Кулакова, Г. В. Лисичкин. — Москва : Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 2020. — 1605 с.
2. Chua, C. K. Chemical reduction of graphene oxide: a synthetic chemistry viewpoint / C. K. Chua, M. Pumera. — Текст : непосредственный // Chemical Society Reviews. — 2014. — Vol. 43. — P. 291–312.
3. Пылаев, Д. Р. Электропроводящие композиты на основе эпоксидных связующих, наполненные углеродными наполнителями / Д. Р. Пылаев, О. М. Чернов, А. Ю. Кузнецов // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах : тезисы докладов VI международной научной конференции (Санкт-Петербург, 2025). — Санкт-Петербург : [б. и.], 2025. — С. 79–80.

Саклакова Е.В.¹, Анисимов А.В.¹, Некрытов П.С.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²АО «Средне-Невский судостроительный завод»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Современный уровень развития ветроэнергетики позволяет рассматривать потенциальные площадки для установки ВЭУ в суровых климатических условиях с отрицательными температурами. Однако работа ветротурбин при высокой скорости ветра, низкой температуре и высокой влажности часто приводит к обледенению лопастей, что снижает их аэродинамику и эффективность и увеличивает нагрузки [1]. Проблема требует комплексного решения на стыке теплофизики, материаловедения и систем автоматизации.

Условия холодного климата (температура ниже 0 °С) могут наблюдаться до 25 – 32 % времени в году, что приводит к потерям выработки ВЭУ до 10 – 18 % [2]. Внедрение систем предотвращения и удаления обледенения позволяет сократить потери мощности с 20 до 4 % в зависимости от степени обледенения компонентов [3]. При этом при отрицательных температурах мощность ветрового потока увеличивается из-за роста плотности воздуха, что может компенсировать затраты на энергопотребление противообледенительных систем [4]. Таким образом, правильный выбор системы защиты является экономически обоснованным. Образование льда на лопастях приводит к изменению формы профиля, увеличению шероховатости поверхности и, как следствие, к уменьшению подъемной силы и увеличению лобового сопротивления, что снижает выходную мощность ветряной турбины [5]. Для своевременного обнаружения и оценки интенсивности обледенения применяются сигнализаторы обледенения, термоэлектрические и емкостные датчики, обеспечивающие непрерывный мониторинг. Современные системы включают комплексы датчиков и системы управления для адаптации режима работы антиобледенительной системы [6].

Методы борьбы с обледенением делятся на активные (требующие затрат энергии) и пассивные, а также на системы предотвращения и удаления льда.

Для создания и тестирования новых технологий исследователи используют экспериментальные установки: например, сотрудники САФУ [4] спроектировали и собрали климатическую аэродинамическую трубу для моделирования процесса обледенения лопастей. Также ведутся работы по

созданию «цифровых двойников» атмосферного пограничного слоя, окружающего ветропарк, для прогнозирования условий обледенения [7]. Проводятся экспериментальные исследования влияния обледенения на кинематические и силовые параметры рабочего элемента лопасти с применением модифицированного метода лазерной доплеровской анемометрии [8].

Проблема обледенения лопастей ВЭУ является значительным препятствием для широкомасштабного использования ветроэнергетики в холодных климатических условиях. Однако комплексное применение современных методов предотвращения и удаления льда — от интеллектуальных систем мониторинга и нагревательных элементов до инновационных гидрофобных покрытий и пневматических систем — позволяет существенно снизить экономические потери и повысить надежность ВЭУ. Дальнейшие исследования в этой области, будут способствовать созданию более эффективных и экономически выгодных решений для ветроэнергетики.

Список литературы

1. **Ниязов А. О., Дерюгина Г. В., Федоров М. П., Олейникова И. П.** Оценка потерь в выработке электроэнергии ветроэнергетическими установками при обледенении // Энергетика и энергоэффективность: реальность и перспективы. – 2024. – DOI: 10.71841/EP.elst.2025.1129.8.07
2. **Меледин В. Г., Кабардин И. К., Двойнишников С. В. и др.** Экспериментальные исследования влияния обледенения на кинематику потоков и силовые параметры лопастей ветрогенераторов методами лазерной доплеровской анемометрии // Теплофизика и аэромеханика. – 2024. – № 2. – С. 255-264. – DOI: 10.1134/S0869864324020093
3. Патент RU 2832790 C1, МПК F03D 80/40, G01M 9/06. Способ исследования влияния обледенения на кинематические и силовые параметры лопастей ветрогенераторов / Меледин В. Г., Кабардин И. К., Двойнишников С. В. и др. ; заявитель и патентообладатель Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. – № 2024111750 ; заявл. 29.04.2024 ; опубл. 09.01.2025, Бюл. № 1. – 21 с.
4. Учёные САФУ собрали климатическую аэродинамическую трубу : [сайт]. – URL: https://arctic-union.ru/novosti/?bitrix_include_areas=N&ELEMENT_ID=2565 (дата обращения: 15.04.2026).
5. Ульяновские учёные планируют решить проблему обледенения ветрогенераторов : [сайт]. – URL: https://www.c-o-k.ru/market_news/ulyanovskie-uchenye-planiruyut-reshit-problemu-obledeneniya-vetrogeneratorov (дата обращения: 15.04.2026).

6. Российские ученые разработали способ борьбы с обледенением для ветряной энергетики : [сайт]. – URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2024/9074837.htm> (дата обращения: 15.04.2026).

7. Сибирские ученые защитили лопасти ветрогенераторов от обледенения воздушным щитом : [сайт]. – URL: https://www.c-o-k.ru/market_news/sibirskie-uchenye-zaschitili-lopasti-vetrogeneratorov-ot-obledeneniya-vozdushnym-schitom (дата обращения: 15.04.2026).

8. В Китае провели испытания системы, которая прогревает лопасти ветряка с помощью света : [сайт]. – URL: <https://xn-----glcfcctdci4bhow0as6psb.xn--p1ai/novosti/v-kitae-proveli-ispytaniya-sistemy-kotoraya-progrevaet-lopasti-vetryaka-s-pomoshhyu-sveta/> (дата обращения: 15.04.2026).

Саклакова Е.В.¹, Гурьянова Е.А.¹, Асташкина О.В.¹, Безруков А.А.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

²АО «Флотенк»

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ И РЕАКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Создание полимерных композиционных материалов (ПКМ), модифицированных углеродными наноструктурами (графеном, фуллеренами, УНТ), требует решения фундаментальной задачи — преодоления сил Ван-дер-Ваальса для обеспечения равномерного распределения наполнителя в вязкой среде. Ультразвуковая (УЗ) обработка признана одним из наиболее эффективных методов деагломерации за счет энергии акустической кавитации. Однако воздействие мощного ультразвука на органические молекулы не ограничивается только механическим перемешиванием. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью учета деструктивных процессов в полимерной матрице, которые могут нивелировать упрочняющий эффект от введения наночастиц [1].

В ходе экспериментального исследования смолы марки ЭД-20 было установлено, что УЗ-воздействие ведет к нелинейному изменению ключевого показателя — эпоксидного числа [2]. Исходное значение 20,4 % снижается до 14,4 % уже после 15 минут обработки [3]. Данный феномен объясняется влиянием трех факторов:

Кавитационная деструкция — схлопывание микропузырьков порождает экстремальные локальные давления и температуры, что

приводит к раскрытию эпоксидных колец без участия отвердителя. Это может приводить к образованию свободных радикалов, которые инициируют преждевременную полимеризацию, повышая неоднородность системы еще до начала технологического отверждения.

Термическая активация – локальный нагрев до 60 – 70 °С снижает вязкость (на 40 – 80 %) [4, 5], что облегчает распределение наполнителя, но одновременно ускоряет кинетику побочных химических реакций.

Окислительные процессы – присутствие растворенного кислорода и воздуха в зоне кавитации способствует окислению эпоксидных групп, что безвозвратно выводит их из процесса формирования полимерной сетки.

Анализ литературных данных [5, 6] и полученных результатов [3] позволяет выделить два этапа изменения реологического состояния системы:

Этап деструкции и разогрева (0 – 15 мин): наблюдается резкое падение вязкости. Это «технологическое окно» является оптимальным для введения наполнителя.

Этап структурирования (свыше 30 – 40 мин): Происходит рост вязкости вследствие частичной полимеризации.

Избыточное время УЗ-обработки делает смолу непригодной для качественной пропитки армирующих наполнителей из-за потери текучести и изменения стехиометрии (несоответствие расчетного количества отвердителя реальному содержанию эпоксидных групп).

Для минимизации негативных эффектов при изготовлении дисперснонаполненных ПКМ предлагается:

- Корректировка рецептуры: пересчет количества отвердителя с учетом фактического (сниженного) эпоксидного числа после УЗ-диспергирования.
- Использование импульсных режимов: чередование периодов воздействия и охлаждения для предотвращения критического нагрева смолы.
- Изучение «эффекта наполнителя»: в перспективе планируется исследовать, как присутствие графена влияет на поглощение УЗ-энергии. Наночастицы могут выступать как центры зарождения кавитации, так и в качестве «экранов», замедляющих деструкцию полимерных цепей.

Список литературы

1. Берлин, А. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / А. А. Берлин. – Санкт-Петербург : Профессия, 2014. – 592 с.
2. ГОСТ 12497–78. Пластмассы. Методы определения эпоксидных групп : издание официальное : введен 01.01.1980. – Москва : Изд-во стандартов, 1978. – 14 с.
3. Гурьянова, Е. А. Изучение реологических свойств эпоксидных связующих при ультразвуковом воздействии / Е. А. Гурьянова, Е. В.

Саклакова. // Сборник трудов молодых ученых «Дизайн и технологии». – Санкт-Петербург : СПбГУПТД, 2023. – С. 112–115.

4. **Хмелев, В. Н.** Ультразвуковая обработка термореактивных смол для улучшения свойств композиционных материалов / В. Н. Хмелев, С. С. Хмелев, С. Н. Цыганок. // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 54–58.

5. **Абрамов, О. В.** Воздействие мощного ультразвука на жидкие и твердые среды / О. В. Абрамов. – Москва : Наука, 2000. – 214 с. – ISBN 5-02-002517-5.

6. **Saba, N.** Recent advances in epoxy-based nanocomposites / N. Saba, M. Jawaid, O. Y. Alothman. // Nanotechnology Reviews. – 2016. – Vol. 5, no. 3. – P. 331–354.

Салау И.О.¹, Пономарева М.С.^{1,2}

¹Дальневосточный федеральный университет

²Институт химии ДВО РАН, Владивосток

ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Cr(VI) НА ОСНОВЕ Zr-СОДЕРЖАЩИХ ПЭО-ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНЕ

Загрязнение окружающей среды опасным шестивалентным хромом Cr(VI) оказывает серьезное воздействие на деятельность человека и здоровье из-за широкого использования тяжелого металла хрома (Cr) в современных отраслях промышленности. В связи с этим важным является контроль содержания разработка эффективных методов контроля Cr(VI) в водных объектах. Электрохимические датчики стали важными инструментами в этом контексте благодаря своей чувствительности, простоте, возможности работы в режиме реального времени и низкой стоимости. Среди различных сенсорных материалов электроды из оксидов металлов выделяются своей механической стабильностью, химической стойкостью и высокой чувствительностью к изменениям окружающей среды [1]. В работе [2] было показано, что Ti/TiO₂-ZrTiO₄-ZrO₂ композиты, сформированные методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) в водном электролите, содержащем 0.05 М Zr(SO₄)₂, в течение 10 мин, генерируют фототоки величиной 73 мкА без наложения потенциала и 230 мкА при наложении потенциала от 0.2 до 1.2 В. Было сделано предположение, что такие композиты перспективны в качестве фотоэлектрохимических сенсоров.

В настоящей работе изучены сенсорные свойства Zr-содержащих ПЭО-слоев на титане для обнаружения Cr(VI). Оксидные слои на титане

формировали методом ПЭО в гальваностатическом режиме ($i = 0,05 \text{ A/cm}^2$) в водных электролитах, $0,05 \text{ M Zr(SO}_4)_2$, в течение 1, 3, 5, 7 и 10 мин. Фотоэлектрохимические свойства образцов исследовали в $0,1 \text{ M}$ фосфатном буферном растворе (рН 7,4) без наложения потенциала. Источником УФ-излучения служила лампа Labino Duo UV S135 Midlight (35 Вт) с пиком излучения на длине волны $\lambda = 365 \text{ нм}$. Различные концентрации Cr(VI) в $0,1 \text{ M}$ фосфатном буфере (рН 7,4) готовили путем добавления определенных объемов раствора $0,1 \text{ н K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ к 100 мл буферного раствора.

Согласно результатам рентгенофазового анализа ПЭО-слои, полученные в течение 1 мин, содержат TiO_2 в модификациях анатаз и рутил и ZrTiO_4 . ПЭО-слои, сформированные при большей длительности процесса, содержат TiO_2 в модификации рутил, ZrTiO_4 и ZrO_2 . Все образцы генерируют достаточные по величине фототоки, величина которых несколько падает с ростом времени формирования ПЭО-покрытий. Как видно из таблицы 1, наибольший фототок генерируют образцы, сформированные в течение 1 и 3 мин. После добавления к буферному раствору Cr(VI) во всех случаях фототоки падают с ростом концентрации Cr(VI). Эти данные свидетельствуют об эффективном восстановлении Cr(VI) фотогенерированными электронами.

Таблица 1 – Фототоки образцов, измеренные в фосфатном буферном растворе

lgC	Величина фототока, мкА					R ²
	Время формирования ПЭО-покрытий, мин					
	1	3	5	7	10	-
-	99,4	99,4	60,0	60,0	50,0	-
0,301	23,9	21,1	7,0	1,79	11,2	0,9880
0,602	16,0	1,4	2,0	1,35	7,3	0,7573
0,778	13,7	0,07	0,2	1,07	3,81	0,8098
0,903	11,1	0,05	1,59	0,99	2,46	0,8300
1,000	8,8	0,05	0,16	1,16	4,88	0,8126

Наибольший коэффициент аппроксимации R² получен для ПЭО-покрытия, полученного в течение 1 мин (таблица 1). Следовательно эти образцы наиболее перспективны для определения Cr(VI) в водных растворах фотоэлектрохимическим методом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХ ДВО РАН № FWFN (0205)-2025-0001.

Список литературы

1. Zhukov, S. Solid-state sensors for monitoring water quality parameters for

new-generation wireless sensor networks / S. Zhukov. // Sensors and Actuators B Chemical. – 2012. – Vol. 161. – P. 1–20.

2. **Васильева, М. С.** Плазменно-электролитическое формирование и фотоэлектрохимические свойства Zr- и/или Ce-содержащих оксидных слоев на титане/ М.С. Васильева, И.В. Лукиянчук, Щитовская Е.В., Голушко А.Д., Кондриков Н.Б. // Журнал неорганической химии. – 2022. –Т. 67, № 9. – С. 1319–1324.

Саргсян А.С., Дворянцев Д.Д., Шарко Е.А.

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И. В. Горынина НИЦ «Курчатовский институт»

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА МАРКИ ПЭСТ-4

Современные антифрикционные полимерные композиционные материалы (ПКМ), в частности антифрикционные углепластики, характеризуются высокими физико-механическими и триботехническими показателями, однако, наряду с указанными преимуществами антифрикционные углепластики инициируют развитие электрохимической коррозии в узлах трения, чем накладывая ограничeния на их использование. Указанный процесс способствует заклиниванию механизмов и деградации качественных характеристик сопряженных поверхностей, что в конечном итоге приводит к снижению эксплуатационного ресурса и эффективности узлов трения.

Перспективным направлением решения данной проблемы является применение гибридного антифрикционного ПКМ, который не содержит углеродных наполнителей и обладает диэлектрическими свойствами. Разработанный материал благодаря комбинации свойств волокон различных типов обеспечивает необходимый уровень механических и триботехнических характеристик, предъявляемых к антифрикционным материалам для узлов трения, работающих в условиях водяной смазки и высокой нагрузки. Использование гибридных ПКМ позволяет нивелировать процессы электрохимической коррозии и, соответственно, повысить надежность и долговечность узлов трения.

В настоящей работе описаны разработанные гибридные ПКМ на основе армирующей ткани, состоящей из органических и неорганических волокон, представлены результаты триботехнических и разрушающих испытаний, а также исследования водопоглощения и электроизоляционных свойств гибридных антифрикционных ПКМ.

Установлено, что новый гибридный антифрикционный ПКМ марки ПЭСТ-4 не уступает углепластику марки УГЭТ по прочностным характеристикам и превосходит его по триботехническим показателям (коэффициент трения и интенсивность изнашивания ПЭСТ-4: $f_c = 0,04$, $I_h = 1,3$ мкм/км; УГЭТ: $f_c = 0,07$, $I_h = 4,9$ мкм/км). ПЭСТ-4 не изменяет линейных размеров при водопоглощении и демонстрирует высокие электроизоляционные свойства.

Полученные данные позволяют заключить, что разработанный гибридный антифрикционный ПКМ может быть рекомендован к применению в узлах трения работающих при высоких нагрузках и с водяной смазкой.

Результаты стендовых испытаний свидетельствуют об энергоэффективности и эксплуатационной надежности гибридного антифрикционного ПКМ марки ПЭСТ-4.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики из ТУ разработанного гибридного антифрикционного материала марки ПЭСТ-4 (ТУ 28.15.39-268-07516250-2022) и ближайшего аналога, антифрикционного углепластика УГЭТ (ТУ 5.966-11479-91).

Таблица 1 – Характеристики антифрикционных ПКМ для узлов трения работающих при высоких нагрузках и водяной смазке.

Наименование характеристики	ПЭСТ-4	УГЭТ
Плотность, г/см ³	1620±50	1430 ± 50
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	250	250
Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	350	250
Разрушающее напряжение при межслойном сдвиге, МПа	28	30
Коэф. трения при смазке водой по стали 20Х13	0,07	0,12
Интенсивность изнашивания при смазке водой МПа I _h (мкм/км)	6	12
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·м	$7,0 \times 10^{13}$	$1,5 \times 10^2$
Водопоглощение в прес. воде за 24 часа, %	0,06	0,04
Водопоглощение в прес. воде за 168 часов, %	0,10	0,60

Список литературы:

1. Патент РФ №2823387 на изобретение «Высокопрочный антифрикционный электроизоляционный ПКМ на основе гибридных тканей» // А. В. Анисимов, А. С. Саргсян, И. В. Лишевич, И. В. Блышко, Е. А. Шарко, Д.Д. Дворянцев. // Дата подачи заявки: 5 октября 2023 года, Дата регистрации: 22 июля 2024 года.

2. Методика экспрессных триботехнических испытаний антифрикционных полимеров / Д. Г. Точильников, Б. М. Гинзбург; Вопросы материаловедения. -2002-№ 3(31). – С. 39–48.

3. А. В. Анисимов, И. В. Лишевич, А. С. Саргсян, И. В. Лобынцева, И. В. Бльшко, М. Ю. Соколов, Д. Д. Дворянцев, Е. А. Шарко Разработка и исследование нового гибридного антифрикционного полимерного композиционного материала с диэлектрическими свойствами. // Вопросы материаловедения // 2025 № 1 (121) DOI: 10.22349/1994-6716-2025-121-1-100 – 110.

Свешникова Е.С., Микая И.О.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ

Нефтяными сорбентами называют средства, используемые для локализации и ликвидации нефтяных разливов. Для их производства применяют различное сырье [1]. Синтетические сорбенты, изготовленные в виде нетканых материалов, применяют в странах с развитой нефтехимической промышленностью и производят из следующих компонентов: лавсан, полипропилен, полиуретан.

Все сорбционные материалы должны обладать следующими характеристиками: сорбционная активность или показатель нефтеёмкости, плавучесть, отжим нефти, способность к регенерации, степень поглощения воды, возможность безопасной утилизации [2].

В настоящей работе проводилось изучение сорбционной активности водонефтяной эмульсии полиэфирными и углеродными неткаными материалами, с предшествующей гидрофобизацией. В качестве гидрофобного агента использовали стеариновую кислоту, оптимальное содержание которой 0,8 %. Сорбент полностью пропитывали раствором гидрофобизатора, затем при нагреве до 100 °С в муфельной печи стеариновая кислота испарялась и равномерно покрывала поверхность нетканого материала. Сорбция проводилась по следующей методике: изготавливали модельную систему, где на водной поверхности помещали нефтяную навеску с контролируемой толщиной слоя. Далее на поверхность нефтепродукта помещался образец сорбента.

Таблица 1 – Сорбция неткаными материалами водонефтяной эмульсии в статических условиях до (сорбция -1) и после (сорбция-2) гидрофобизации

Толщина слоя нефти, мм	Углеродный нетканый материал			Полиэфирный нетканый материал		
	Толщина образца, мм	Сорбция-1, г/г	Сорбция-2, г	Плотность образца, г/м ³	Сорбция-1, г/г	Сорбция-2, г/г
5	1	5,10	6,10	100	6,40	7,12
10		12,63	13,21		6,54	7,24
15		18,20	19,05		8,05	8,40
5	3	1,31	2,30	200	8,10	9,00
10		4,44	5,53		8,35	9,20
15		6,70	7,32		8,90	9,53
5	5	0,80	1,34	300	3,51	4,21
10		4,40	5,50		4,52	5,13
15		6,30	7,30		4,75	5,30
5	9	0,63	1,30	400	3,34	3,65
10		1,70	2,45		4,50	5,40
15		5,20	6,10		4,63	5,50

Проведенный анализ сорбционных свойств и структуры рассматриваемых углеродных и полиэфирных нетканых волокон позволил установить сорбционную активность материалов. Наибольшей нефтеёмкостью обладает углеродный нетканый материал после проведения гидрофобизации (19,05 г/г). Полиэфирные волокна с плотностью поверхности 150 и 200 г/м² после гидрофобизации обладали большими значениями сорбционной способности: 9,35 и 9,50 г/г соответственно. Проведение гидрофобизации увеличивает сорбционную активность представленных материалов.

Список литературы

- Веприкова, Е. В.** Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей / Е. В Веприкова, Е. А., Терещенко, Н.В. Чесноков, М.Л. Щипко, Б.Н.Кузнецов // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – Т. 3. №3. – С. 285–304.
- Пирогова, С. С.** Вторичное использование твердых промышленных отходов в качестве сорбентов / С.С. Пирогова, Е.С. Свешникова // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: сборник материалов IX Международной конференции "Композит-2022". – Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А. – 2022. – С. 296–301.

Сейталиева Д.Г., Лукичева Н.С., Виноградова Л.Е.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЫБОР ТЕМПЛАТА ДЛЯ УГЛЕРОДНОГО ГАЗОНАПОЛНЕННОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

В роли теплоизоляционных материалов успешно применяют углеродные пены и аэрогели, чья уникальная пористая архитектура обеспечивает исключительно низкие значения теплопроводности, что делает их идеальными для задач, где требуется минимизировать теплопередачу. Один из наиболее результативных способов производства углеродных аэрогелей с выдающимися изоляционными параметрами, как демонстрирует исследование [1], представляет собой метод темплатного синтеза. Сущность подхода заключается в использовании специальных полимерных «жертвенных» шаблонов таких, как порошки поливинилхлорида (ПВХ), поливинилового спирта (ПВС), полиакрилонитрила (ПАН), а также гранулы вспененного полистирола (ПС) [2]. Эти добавки во время процесса карбонизации формируют каркас будущей пористой системы в матрице из фенолоформальдегидной смолы (ФФС). На финальном этапе шаблоны термически удаляют из ФФС в результате чего в структуре материала образуются необходимые пустоты. Именно они определяют фундаментальные свойства теплоизолятора.

Одной из задач работы являлся выбор темплата, способного не только сформировать пористую структуру, но и обеспечить оптимальную совокупность теплофизических и электрических свойств углеродного газонаполненного композита. Ключевыми параметрами для сравнения являлись пористость, теплопроводность, термическое и электрическое сопротивление.

Углеродные пористые материалы, в которых в качестве шаблона был использован вспенивающийся ПС, получились (по сравнению с материалами на основе других темплатов) наименее плотными ($0,16\text{--}0,17\text{ г/см}^3$), что связано с образованием более пористой структуры (пористость $84\text{--}86\%$). Соответственно, менее тепло- и электропроводными (коэффициент теплопроводности $\lambda=0,062\text{--}0,064\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; линейное электрическое сопротивление = $75\text{--}76\text{ Ом}\cdot\text{см}$).

А углеродные пены, при изготовлении которых шаблонами пористой структуры были выбраны порошки ПВХ и ПАН, наоборот были самыми плотными (от $0,31$ до $0,41\text{ г/см}^3$), менее пористыми ($63\text{--}77\%$) и более тепло- и электропроводными (коэффициент теплопроводности $\lambda=0,074\text{--}0,097\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; линейное электрическое сопротивление = $24\text{--}44\text{ Ом}\cdot\text{см}$).

Материалы на основе ПВС характеризуются средней пористостью (68–78 %) и, как следствие, средней теплопроводностью (0,060–0,079 Вт/м·К). Однако у данного вида образцов наблюдается значительный рост электрического сопротивления (до 84 Ом·см), что свидетельствует о менее сформированной проводящей углеродной сетке.

В заключении можно сделать вывод, что с точки зрения совокупности характеристик (минимальной теплопроводности, высокого термического сопротивления и сохранения развитой пористой структуры), наиболее предпочтительными темплатами являются полистирол и поливиниловый спирт. ПВХ и ПВС можно рассматривать как варианты со стабильными, но не выдающимися теплоизоляционными свойствами.

Список литературы

1. Лукичева, Н. С. О подходах к формированию углеродных пен и аэрогелей / Н. С. Лукичева, О. В. Асташкина, Д. Г. Сейталиева // Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы : Материалы XV всероссийской научной и студенческой конференции с международным участием имени профессора А.А. Лысенко, Санкт-Петербург, 14–16 мая 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. – С. 47–49.
2. Сейталиева, Д. Г. Подбор темплата для получения углеродного пористого материала / Д. Г. Сейталиева, Н. С. Лукичева // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах : Тезисы докладов VI международной научной конференции, Санкт-Петербург, 02–03 декабря 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. – С. 87–88.

Семёнов Н.С., Свердлова Н.И., Лукичева Н.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛЫ И ПРОДУКТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ

Технология получения композитов, обладающих функциональными качествами природных материалов, определяется соотношением наполнителя в связующей вязкотекучей основе, переходящей в

определенных условиях в твердое состояние, приобретая заданную форму. Искусственный камень — обобщённое название для некоторых видов промышленной продукции, представляющих собой имитацию природного камня. Интерес потребителей материалов для строительной индустрии к ассортименту этого вида продукции возрастает благодаря функциональным дизайнерским преимуществам в сравнении с натуральными строительными материалами. Искусственные камни могут иметь при меньшей плотности более высокие характеристики при деформационных нагрузках, меньшую теплопроводность, влагостойкость и другие улучшенные потребительские качества. Возможность производства искусственного камня с использованием в качестве наполнителей в композитах промышленных отходов, например, отходов каменной, стекольной, сталелитейной промышленности и производства полимерных материалов делает возможным расширение разнообразия физико-механических и декоративных качеств новых материалов с различной текстурой, цветом и формой.

Характер изменения вязкости полимерной основы в присутствии отвердителя и различных наполнителей до твердого состояния определило технологические особенности получения композитов, анализ свойств которых позволил обозначить перспективу их применения для различных целей в интерьерной отделке помещений, облицовке фасадов и индивидуальных дизайнерских работах. Кроме того, задача современной строительной индустрии состоит в производственном масштабе получения экономически жизнеспособных материалов с заданными свойствами.

Использование отходов пластмасс в качестве конструкционного материала является экономически выгодным и способствует снижению экологической нагрузки путем снижения объемов использованных полимерных изделий. Реализация вторичной переработки полимерного сырья сопряжено с рядом технологических трудностей, поскольку его свойства изменяются по сравнению с первичными в процессах деструкции, протекающих в материале при эксплуатации, хранении и повторной переработке изделий с применением высоких температур.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ/ПЭТ) – термопластичный полимер, который используется для переработки из расплава в виде синтетического волокна, пленки, кабельной изоляции, упаковочной тары для пищевых продуктов, минеральной воды и других напитков. Вторичный ПЭТФ имеет широкие возможности использования, начиная с гранул и пленки для упаковки, заканчивая предметами одежды, ковров, багажа и офисной мебели, аудио - видеопленкой. В последнее время область применения ПЭТФ значительно расширилась благодаря конкурентоспособности по отношению к традиционному сырью: натуральным, искусственным и синтетическим волокнам, а также металлу, стеклу и картону.

Основной объем сырья для вторичной переработки составляют освобожденные от пищевых продуктов пластиковые упаковочные изделия преимущественно в виде бутылок, использование которых предполагает сохранение основных характеристик полимера, так как предложенный вариант переработки ПЭТФ в виде механически измельченной крошки не требует высокотемпературного расплава.

Варианты искусственного камня получены путем включения в связующую основу неорганических и полимерных наполнителей. В качестве связующего использовали полиэфирную смолу. Массовое соотношение вязкотекучей полимерной основы и наполнителя с последующим отверждением в условиях без использования высоких температур определило получения ряда опытных образцов искусственного камня анализ свойств которых позволил обозначить перспективу использования в интерьерной отделке помещений, облицовке фасадов и индивидуальных дизайнерских работах.

Образцы искусственного камня получены методом заливки в форму премиксов, подготовленных с использованием в качестве связующего полиэфирной смолы, а коммерческие наполнители, имеющие специально подготовленную структуру, имели различную окраску: бежевый, гранатовый, кирпичный, кремовый, кроме того, наполнителями служили керамзит, мраморная крошка, декоративный песок, галька светящаяся, крошки ПЭТФ. Массовое соотношение в премиксе связующего и наполнителя сохраняли постоянным для всех образцов. Расчетное количество специально подготовленного коммерческого наполнителя и ПЭТФ в виде крошки в заданном режиме последовательно вводили в полиэфирную смолу, перемешивали и помещали в форму. Отверждение каждого образца проводили в форме одинокового размера в продолжении 24 часов. Готовое изделие извлекали из формы.

Исследование плотности, теплопроводности, ударной прочности, водопоглощения полученных образцов композитов показали зависимость контрольных величин от соотношения выбранных наполнителей. Оценку этих показателей проводили в сравнении с образцом, полученным без наполнителя. Результаты исследований подтвердили существенное влияние индивидуальных качественных характеристик наполнителей на эксплуатационные характеристики и эстетическую привлекательность искусственного камня.

Сенченко П.Д., Бракк Д.Г., Власов П.П.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

НЕОРГАНИЧЕСКИЙ ПОЛИМЕР В СОЧЕТАНИИ С ТЕХНОГЕННЫМИ ОТХОДАМИ

Основная масса техногенных отходов либо не перерабатывается, либо не может быть переработана на тех предприятиях, где образуются. По имеющимся данным, только на территории РФ таких отходов накоплено более 80 млрд. т. Между тем они могут быть переработаны и утилизированы с пользой для народного хозяйства [1]. Перспективным представляется использование техногенных отходов в качестве наполнителей для МБК (магнезиально-бишофитой композиции). МБК получается смешиванием предварительно прокаленного до 800 °С оксида магния с 30 %-ным водным раствором $MgCl_2$. Вследствие образования полимерной структуры из атомов магния, связанных друг с другом гидроксильными группами, молекул воды и ионов хлора, смесь через несколько часов дает белую, очень прочную и легко полирующуюся массу [2].

Определены оптимальные параметры формирования МБК на основе различных видов каустического магнезита и оценено влияние техногенных отходов: золы ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и металлургического шлака на физико-механические свойства композиции. Регистрировали температуру гидратации прибором ИТ-17С. В качестве отвердителя применяли раствор бишофита ($\rho=1,25$ кг/м³), который смешивали с магнезитом в массовом соотношении Ж:Т, равным 1:1. Использовали магнезиты: ПМК-87, ПМК-75, ПМК-83 (ГОСТ 12`16-87). Подвижность определяли по ГОСТ 31356-2007 (расплыв по конусу). Прочность на сжатие образцов размером 3×3×3 см испытывали через 3, 7, 28 суток. Водопоглощение оценивали по изменению массы образцов при водонасыщении в течение 15 суток

Максимальная температура гидратации для ПМК-87 составляла 150 °С (через 3 ч), ПМК-83 – 105 °С (через 4 ч) и ПМК-75 – 31 °С (через 8 ч). Высокая температура ПМК-87 указывает на высокое содержание активного оксида магния; ПМК-75 демонстрирует сниженную гидратацию в результате деградации вяжущего при хранении, при этом оптимальным является ПМК-83. Расплыв смесей с магнезитами для ПМК-87 составил 227–230 мм, ПМК-83 – 203–205 мм, ПМК-75 – 160–161 мм, что коррелируется с технологичностью укладки.

Контрольный образец (смесь ПМК-83, бишофитового раствора и 3 % шунгита) набирал 70 % от максимальной прочности через 3 суток

(18,3 МПа), 90 % – через 7 суток (23,2 МПа) и максимальную прочность достигает через 28 суток, которая составляла 25,6 МПа. Поэтому рекомендуется проводить оценку прочности не ранее 7 суток.

Введение в контрольный образец 20–40 % золы повысило прочность полученных образцов до 24,1–26,9 МПа, тогда как введение 20–40 % металлургический шлак приводило к снижению прочности до 18,1–19,6 МПа. Комбинированное применение 40 % золы и 20 % шлака обеспечило максимальную прочность 30,6 МПа. При содержании больше 40% каждого вида отходов наблюдается снижение технологичности смеси из-за повышенной густоты.

Наилучшие показатели по водопоглощению ($W_m \leq 1,3$ %) получены для образцов с золой, что свидетельствует о её положительном влиянии на влагостойкость. Образцы со шлаком и комбинированными заполнителями показали отрицательные значения прироста массы (–0,6...–3,2 %), что может быть связано с миграцией растворимых солей или погрешностью измерений.

Выводы

1. Для формирования МБК с управляемым выделением тепла и достаточной подвижностью смеси рекомендуется использовать вяжущее ПМК-83.
2. Основное структурообразование и набор прочности происходят в первые 7 суток, что позволяет оптимизировать сроки контроля качества.
3. Зола от сжигания отходов на ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» является эффективным модификатором, повышающим прочность и снижающим водопоглощение композиции.
4. Рациональное комбинирование золы (20–40 %) и металлургического шлака (≤ 20 %) позволяет утилизировать до 60 % техногенных отходов от массы вяжущего с улучшением прочностных характеристик (до 30,6 МПа) без потери технологичности.

Список литературы

1. **Сметанин, В. И.** Защита окружающей среды от отходов производства и потребления / В. И. Сметанин. – Москва : Колос, 2000. – 232 с.
2. **Сизиков, А. М.** Пути повышения качества магниезальных бетонов: монография / А. М.Сизиков, Е. В. Шаповалова. – Омск : СибАДИ, 2009. – 92 с.

Смирнов А.В.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ТРИАЗИН-СОДЕРЖАЩИЕ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫЕ МОНОМЕРЫ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ СВЯЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), армированные углеродными волокнами, находят широкое применение в высоконагруженных конструкциях, включая авиационную и космическую технику. Одним из ключевых направлений развития таких материалов является создание термостойких связующих, способных сохранять эксплуатационные характеристики при температурах порядка 300 °С и выше.

Перспективным классом соединений для этих целей являются фталонитрилсодержащие системы, в которых при термообработке (300–375 °С) формируются триазиновые структурные фрагменты, обеспечивающие образование жесткой и термостабильной пространственно-сшитой матрицы. Высокая степень сшивки способствует увеличению модуля упругости и эффективной передаче нагрузки между полимерной матрицей и армирующим наполнителем.

В данной работе разработаны связующие для ПКМ на основе трифункциональных мономеров, изначально содержащих 1,3,5-триазиновый структурный фрагмент, что позволяет формировать высокосшитую и жесткую полимерную структуру уже при относительно мягких режимах термообработки (~330 °С). Исследованы составы на основе 2,4,6-трис[3-(3,4-дицианофеноксифенил)-1,3,5-триазина (*m*-ТСРТ) и его пара-изомера 2,4,6-трис[4-(3,4-дицианофеноксифенил)-1,3,5-триазина (*p*-ТСРТ), с добавлением инициатора полимеризации 4-(4-аминофеноксифталонитрила (APN) и активного разбавителя бис(3-(3,4-дицианофеноксифенил)фенилфосфата (PPN). Показано, что использование *m*-изомера обеспечивает более широкий технологический интервал переработки при сохранении высокой реакционной способности системы, что является важным фактором при изготовлении композиционных материалов. С помощью данных ИК-спектроскопии подтверждено формирование сетчатой структуры с высоким содержанием триазиновых звеньев.

На основе разработанных связующих методом горячего прессования получены образцы ПКМ. Полученные ПКМ характеризуются повышенной термической стабильностью и сниженной склонностью к хрупкому разрушению по сравнению с аналогами, формируемыми при более жестких условиях.

Механические испытания показали, что межслоевая прочность при сгибе сохраняется на высоком уровне даже при температуре 300 °С, что

свидетельствует о перспективности данных материалов для эксплуатации в условиях повышенных температур и нагрузок.

Исследование выполнено в рамках государственного задания АААА-А21-121011590086-0 Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Список литературы

1. **Keller T. M. et al.** Phthalonitrile-based high temperature resin // J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem. – 1988. – Vol. 26. – Pp. 3199–3212.
2. **Sheng H. et al.** Synthesis and thermal properties of high-temperature phthalonitrile polymers based on 1,3,5-triazines // High Perform. Polym. – 2016. – Vol. 28. – Pp. 600–609.

Смирнов В.В., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕСТКИХ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ

Теплоизоляционные материалы часто производят из пенополиуретанов (ППУ). Их получают при взаимодействии гидроксилсодержащих полиэфиров с изоцианатами в присутствии катализаторов, стабилизаторов пены и вспенивающих агентов. Для улучшения их теплоизоляционных свойств в ППУ могут добавлять различные наполнители, например, полые стеклянные микросферы. Однако, в ходе литературного поиска было установлено, что во всех доступных источниках для получения композитных материалов на основе ППУ с наполнителем - стеклянными микросферами - используются первичные микросферы, но отсутствует информация об использовании в качестве наполнителя вторичных микросфер (то есть тех, которые получили путём рециркуляции уже готового композита). Поэтому целью исследования является выяснение возможности использовать вторичные микросферы для получения теплоизоляционного материала.

Для исследования были взяты две двухкомпонентные пенополиуретановые системы RIBERG SG-50 и полиуретановой системы X/18, стеклянные микросферы марки К-37 от производителя МИР 3М, и обрезки композитного материала, представляющие собой сшитую винилэфирную смолу с содержанием стеклянных микросфер 60 % масс. предоставленные АО «Прометей». Поступивший композит дробился в промышленной дробилке до мелкой крошки размером менее 3 мм.

Для получения пенополиуретана на основе RIBERG SG-50 к отмеренному количеству компонента А добавляли от 1 до 20 % масс. от массы пенополиуретановой системы или от 1 до 10 % масс. дроблённого композита. Затем эти микросферы тщательно перемешали с компонентом А. После тщательного перемешивания, в смесь добавили отмеренное количество компонента Б. Эту смесь быстро перемещали и вылили в металлическую форму 10x10x4 см. Для защиты формы от прилипания пенополиуретана, использовалась силиконизированная бумага, проложенная внутри формы. После выливания компонентов в форму, довольно быстро начиналась реакция между компонентами А и Б, в результате чего параллельно происходили процессы газообразования и отверждения. Это приводило к резкому росту объёма пены. После окончания процесса отверждения материал доставался из формы и исследовался. Также для контроля по аналогичной методике был создан образец пенополиуретана, не содержащий микросфер.

Аналогично были созданы образцы на основе полиуретановой системы X/18.

Исследования теплопроводности проводили согласно ГОСТ 7076-99 в специальном приборе для измерения теплопроводности ИТП-МГ4. В результате установлена зависимость теплопроводности от количества введенного наполнителя. Теплопроводность исходного образца SG-50 составляла 0,043 Вт/(м*К); 1 % масс. микросфер - 0,040 Вт/(м*К); 5 % масс. - 0,038 Вт/(м*К); 10 % масс. - 0,037 Вт/(м*К); 15 % масс. - 0,039 Вт/(м*К); 20 % масс. - 0,039 Вт/(м*К); 1 % масс. вторичных микросфер - 0,043 Вт/(м*К); 5 % масс. - 0,039 Вт/(м*К); 10 % масс. - 0,038 Вт/(м*К). Также необходимо отметить, что введение микросфер в количестве 15 % масс. и более негативно влияет на кратность вспенивания ППУ.

Исследования образцов на основе X/18 показали, что теплопроводность исходного образца составляет 0,042 Вт/(м*К); 1 % масс. микросфер – 0,037 Вт/(м*К); 5 % масс. – 0,036 Вт/(м*К); 10 % масс. – 0,036 Вт/(м*К); 1 % масс. вторичных микросфер – 0,038 Вт/(м*К); 5 % масс. – 0,037 Вт/(м*К); 10 % масс. – 0,035 Вт/(м*К).

В результате можно констатировать, что введение вторичных микросфер положительно влияет на теплоизоляционные свойства композиционного материала, причём тенденция сохраняется для разных видов ППУ.

Соколова А.А.^{1,2}, Лёзова О.С.¹, Шилова О.А.^{1,2}, Иванова А.Г.¹

¹Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ – ИСХ

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

КАТИОНПРОВОДЯЩИЕ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ

Композитные катионпроводящие мембраны (КМ) с CeO_2 перспективны для применения в твердополимерных топливных элементах ТПТЭ благодаря высокой термо- и окислительной стойкости [1]. Наночастицы CeO_2 защищают полимерную матрицу, улавливая перекисные радикалы через реакцию $\text{Ce}^{4+} \leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$. При этом мембраны на основе сшитого и сульфатированного поливинилового спирта (ПВС) с CeO_2 практически не изучены.

Ранее нами были получены КМ на основе сшитого фурфуролом (ФУР) ПВС, модифицированного ионным допантом – аминосульфоновой кислотой (АСК) и тетраэтоксисиланом (ТЭОС) с добавлением к нему свежеприготовленного коллоидного раствора диметилсульфоксида, содержащего наночастицы CeO_2 [2].

Целью настоящей работы являлось сравнение физико-химических показателей коммерческой КМ Нафион и новых КМ с различным содержанием функциональных компонентов (АСКг/ФУРмл/ТЭОСмл) при массе ПВС равной 1 г без CeO_2 и с ним (1 масс. %): 0.4/1/0.3 (1) и 0.8/1.5/0.3 (3) и их аналоги с CeO_2 – (2) и (4), (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели катионпроводящих мембран

Маркировка мембран	Максимум ионной проводимости неувлажненных КМ, См/см, при Т, °С	Максимум ионной проводимости увлажненных КМ, См/см, при Т, °С	Степень набухания КМ, %, после выдержки в воде в течение 5 суток	Окислительная стойкость, %*	Полная ионообменная ёмкость, мг-экв/г
1	$9,5 \cdot 10^{-3}$ (105)	$6,8 \cdot 10^{-2}$ (105)	91	51	10.18
2	$7,7 \cdot 10^{-3}$ (120)	$4,5 \cdot 10^{-2}$ (120)	83	65	10.53
3	$7,9 \cdot 10^{-3}$ (90)	$4,4 \cdot 10^{-2}$ (90)	84	54	13.49
4	$1,8 \cdot 10^{-3}$ (70)	$2,5 \cdot 10^{-2}$ (70)	72	78	14.94
Нафион	$8,6 \cdot 10^{-3}$ (35)	$1,4 \cdot 10^{-2}$ (40)	18	95	0.83

* - остаточная масса 1-4 после их выдержки в окислительной среде (реагенте Фентона) в течение 24 часов

Синтезированные ПВС-мембраны с наночастицами CeO_2 имеют ряд преимуществ перед их аналогами без CeO_2 : в снижении степени набухания и увеличении окислительной стойкости и полной ионообменной ёмкости. Максимум ионной проводимости ПВС-мембран при повышенных температурах > такового КМ Нафион.

Солдатова Д.А., Соколов И.А., Поволоцкий А.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербургский государственный университет

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЗОЛОТЫХ НАНОЧАСТИЦ С ОБОЛОЧКОЙ ИЗ ДИОКСИДА ТИТАНА

Благодаря наличию локализованного поверхностного плазмонного резонанса в видимой области спектра золотые наночастицы используются в таких областях как фотокатализ, усиление флуоресценции, спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния света и других. Такие наночастицы способны эффективно поглощать свет и передавать энергию окружающим молекулам или ионам [1]. Интенсивность, форма и положение спектра резонансного поглощения наночастицы зависит от ее формы, размеров и состава, а также от свойств оболочки при ее наличии. Сферические золотые наночастицы демонстрируют единственный пик поглощения на длине волны около 530 нм.

Поверхность наночастицы может быть покрыта как диэлектрическим материалом, так и полупроводником. Например, фотокатализатор диоксид титана имеет недостаток в виде поглощения света в ультрафиолетовой области. Однако, в случае создания структуры Au@TiO_2 золотое ядро может усиливать каталитическую способность полупроводниковой оболочки. При этом большинство методов синтеза таких наноструктур проводятся при температурах выше 180°C . В ходе работы удалось синтезировать золотые наночастицы покрытые диоксидом титана при комнатной температуре. Были исследованы физико-химические и функциональные свойства полученных структур. Использование оболочки из диоксида титана привело к смещению положения полосы резонансного поглощения в более длинноволновую область вследствие увеличения показателя преломления на границе раздела ядро-оболочка. Величина смещения зависит от толщины оболочки и ее фазового состояния, что согласуется с литературными данными [2].

Список литературы

1. **Povolotskaya, A. V. et al.** Hybrid nanostructures: synthesis, morphology and functional properties // Russian Chemical Reviews. 2015. Vol. 84(6). Pp. 579–600. DOI: 10.1070/RCR4487.
2. **Fang, C. et al.** (Gold core)/(titania shell) nanostructures for plasmon-enhanced photon harvesting and generation of reactive oxygen species // Energy & Environmental Science. 2014. Vol. 7(10). Pp. 3431–3438. DOI:10.1039/c4ee01787k.

Ушканов А.А., Лазарева Н.Н., Охлопкова А.А.

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Базальтовые волокна представляют собой одно из перспективных направлений в области современного материаловедения. Их активное использование может способствовать достижению некоторых целей устойчивого развития. Однако равномерное распределение армирующих волокон в полимерной матрице при формовании в пресс-форме остается одной из ключевых задач при разработке фторкомпозиов, поскольку превышение 10 мас. % волокнистого наполнителя часто приводит к появлению трещин, пор и других дефектов композита. Таким образом, композиты требуют синергетического подхода: оптимизацию технологических режимов формования, модификацию поверхности волокон, обеспечивающих улучшение межфазной адгезии и гомогенность распределения наполнителя.

Целью работы является исследование влияния содержания базальтового волокна и добавки ФОРУМ® на свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Объектами исследования служили политетрафторэтилен ПН-90 (АО «ГалоПолимер», Россия) и его композиты, армированные базальтовыми волокнами (БВ, ООО «ТБМ», Россия) и модифицированные функциональной добавкой ФОРУМ® (ООО «Владфорум», Россия).

Технология получения композитов включала измельчение непрерывных базальтовых волокон в режущей мельнице («Fritsch Pulverisette 15», Германия) с диаметром сита 1,5 мм, после чего подвергали механической активации в планетарной мельнице («Активатор 2S», Россия) при вращении барабанов 2250 об/мин в течение 5 мин. Затем механически обработанные волокна смешивали с порошком ПТФЭ в лабораторной

мельнице серии SM-3 («HT Machinery», Япония-Тайвань) при небольшой скорости вращения в течение 5 мин. Завершающими этапами технологии являлись прессование и спекание. Исследования проводились по стандартным методикам.

В таблице 1 представлены результаты трибологического испытания.

Таблица 1 – Результаты трибологического испытания

Композит, мас. %		Скорость массового изнашивания (I), мг/ч	Коэффициент трения (f)
БВ	ФОРУМ®		
ПТФЭ		94,243 ± 4,71	0,22 ± 0,02
1	5	5,073 ± 0,25	0,27 ± 0,02
20		0,073 ± 0,01	0,26 ± 0,02
1		3,636 ± 0,18	0,27 ± 0,02
20		0,116 ± 0,01	0,24 ± 0,02

Анализ таблицы 1 показывает, что скорость массового изнашивания исследуемых образцов уменьшилась в интервале 18–1291 раз по сравнению с чистым ПТФЭ. Коэффициент трения композитов повышается до 0,27, это немного выше, чем у ненаполненного полимера 0,22. В работе [1] отмечено, что низкие значения f (0,04–0,08) возможны при скоростях скольжения менее 0,01 м/с против 0,2 м/с в данной работе. Хотя добавка ФОРУМ® обладает хорошими смазывающими свойствами [2], её концентрация в композите недостаточна для эффективной компенсации микрорельефа поверхности БВ, что препятствует значительному снижению коэффициента трения. Несмотря на повышение износостойкости, композиты существенно теряют эластичность по сравнению с ненаполненным ПТФЭ, что проявляется в снижении относительного удлинения и прочности при растяжении почти в 2,5 раза. Возможно, волокна образуют своего рода внутренний каркас, приводя к увеличению модуля упругости и прочности при сжатии до 80 % при относительной деформации 10 %. Структурный анализ композитов методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявил хаотичное, неориентированное распределение БВ в матрице ПТФЭ.

В целом, БВ зарекомендовало себя как перспективный армирующий материал, что делает его конкурентоспособной альтернативой традиционным волокнам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2024-0004.

Список литературы

1. Негров, Д. А. Усовершенствование технологии прессования изделий из политетрафторэтилена / Д. А. Негров, В. Ю. Путинцев // Журнал

Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2021. Т. 14. № 5. С. 564–571.

2. **Цветников, А. К.** Энерго- и ресурсосберегающие материалы на основе ультрадисперсного низкомолекулярного политетрафторэтилена / А. К. Цветников // Вестник ДВО РАН. – 2021. № 5 (219). С. 79–94.

Фатьянова К.А., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН, НАПОЛНЕННЫХ САЖЕЙ

Современное развитие техники предъявляет повышенные требования к материалам, среди которых особое место занимают углеродные волокна. Благодаря сочетанию высокой удельной прочности, химической стойкости и термической стабильности они широко используются в аэрокосмической промышленности, машиностроении и электротехнике. Присутствие электропроводящего наполнителя может придать композитному волокну новые электрофизические свойства и оказать существенное влияние на кинетику последующих термических превращений – процессов стабилизации, карбонизации и графитации, которые определяют конечную структуру и механические характеристики углеродного волокна [1].

В работе использовали полиакрилонитрильные волокна на основе тройного сополимера акрилонитрила (нитрон Д), состоящего из: акрилонитрил 92 %, метилакрилат 6,5 %, 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты 1,5 %. В качестве наполнителя использована печная сажа марки PowCarbon 5317F.

Формование волокон проводили из раствора полиакрилонитрила в диметилформамиде с содержанием полимера 21 масс. %. Получали волокна-композиты с количеством филаментов 120 шт. и тексом 0,33, наполненные сажей в количестве 0,5; 2,0 и 15,0 масс. % от массы полимера. Преодокисление волокон-композитов проводили при натяжении при температуре 200 °С на воздухе, а карбонизацию при 900 °С в среде азота.

Диаметр филаментов измеряли непосредственно с помощью оптического микроскопа. Физико-механические свойства (прочность на разрыв и удлинение до разрыва) определяли на разрывной машине марки Instron 5944-71 при скорости перемещения траверсы 20 см/мин. В таблице 1 представлены данные по усадке волокон-композитов.

Таблица 1 – Усадка филаментов волокон-композитов по диаметру после предокисления и карбонизации относительно диаметра исходных волокон

Содержание сажи в волокне, масс. %	Усадка после предокисления, %	Усадка после карбонизации, %
0	8,0	74,3
0,5	10,6	77,7
2,0	44,4	64,1
15,0	30,8	60,4

Как видно из представленных данных (таблица 1) введение углеродных частиц приводит к повышению усадки после предокисления и к снижению усадки после карбонизации, что является преимуществом для сохранения линейных размеров углеродных волокон.

В таблице 2 представлены результаты физико-механических испытаний волокон-композитов до и после проведения процесса предокисления.

Таблица 2 – Физико-механические свойства волокон-композитов до и после предокисления

Содержание сажи в волокне, масс. %	До предокисления		После предокисления	
	прочность, МПа	удлинение, %	прочность, МПа	удлинение, %
0	189,7	19,5	220,9	39,0
0,5	154,7	20,6	177,6	29,2
2,0	178,3	22,0	281,7	29,2
15,0	176,9	34,3	241,2	31,2

Видно, что после предокисления повышается как прочность на разрыв, так и удлинение до разрыва. При этом, наибольшей прочностью на разрыв обладает композитное волокно, наполненное сажой в количестве 2,0 масс. %, что говорит о снижении прочности при бóльшем содержании углеродного наполнителя 15 масс. %.

Список литературы

1. Фазлитдинова, А. Г. Влияние режимов термомеханического воздействия на изменение линейных размеров полиакрилонитрильного волокна в процессе термостабилизации / А. Г. Фазлитдинова, В. А. Тюменцев // Вестник Челябинского государственного университета. – 2011. – № 15(230). – С. 5–10.

Федюченко Н.Р., Ширин О.И., Липин В.А.

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЯЗКОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В АЗОТСОДЕРЖАЩИХ КОМПЛЕКСАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Оценка величины степени полимеризации (СП) целлюлозы с применением вискозиметрии является ключевой процедурой при контроле её технологических свойств. Стандартными реагентами для растворения целлюлозы в ходе данного анализа служат комплексные соединения ионов переходных металлов с алифатическими диаминами, в частности, медно-этилендиаминовый реактив (Cuен) и кадмий-этилендиаминовый комплекс (Cadoxen) [1,2]. В международной практике с 1980-х годов используется методика, регламентирующая использование медного комплекса. Она закреплена в стандарте ISO 5351:2010. В то же время, в практике отечественных производств сохраняется преимущественное применение Cadoxen-метода, регламентированного ГОСТ 25438-82. Данный метод подразумевает работу с солями кадмия, отличающимися высокой токсичностью и способностью к накоплению в организме человека. Алгоритмы или корреляционные уравнения, позволяющие конвертировать значения степени полимеризации, полученные с использованием Cuен-метода в значения, полученные с использованием Cadoxen-метода отсутствуют. В связи с этим корректная оценка качества целлюлозы, полученной различными производителями, по ряду параметров не представляется возможной.

Задача представленного исследования заключалась в проведении сопоставительного анализа величин СП для образцов сульфатной целлюлозы, растворенных в Cuен- и Cadoxen-реактивах. Перед проведением измерений вязкости целлюлозу обрабатывали растворами диоксида хлора с различной концентрацией. Измерения вязкости и последующий расчет СП производили в соответствии с процедурами, описанными в ГОСТ 25438-82 и ISO 5351:2010.

Было установлено, что численные значения СП, определённые в медно-этилендиаминовом комплексе, всегда ниже величин, определённых в кадмий-этилендиаминовом растворе. На основе полученных результатов предложены эмпирические зависимости подтверждающие значительное влияние природы растворителя на итоговый результат определения СП.

Список литературы

1. Zaccaron, S., Ahn, K., Henniges, U., Potthast, A., Rosenau, T. An improved,

less erroneous protocol for the classical “cuen”, “cuoxam” or “cadoxen” viscosity measurements of pulps // Cellulose. 2022. Vol. 29. Pp. 3733–3744. DOI: 10.1007/s10570-022-04505-w.

2. Hallac B.B., Ragauskas A.J. Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2011. Vol. 5. Pp. 215–225. DOI: 10.1002/bbb.269.

Фоминенко М.О., Лукичева Н.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ГИБРИДНЫЕ И ГРАДИЕНТНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Современное внедрение энергоэффективных технологий в такие отрасли промышленности, как аэрокосмическая, автомобильная, тяжелая, диктует жесткие требования к теплоизоляционным материалам (ТИМ). Классические однородные изоляторы часто достигают предела своих возможностей, поэтому концепция гибридных ТИМ, позволяющая создавать материалы с программируемым распределением теплофизических характеристик в объеме изделия, вызывает огромный интерес.

Под гибридными теплоизоляционными материалами понимают системы, содержащие в себе два и более различных по физическим, механическим или химическим свойствам компонента, которые могут быть сформированы, например, с помощью взаимопроникающих сеток или химических сшивок. Одними из таких гибридных ТИМ являются градиентные материалы.

Градиентные ТИМ — это материалы, которые состоят из слоев различной толщины, плотности, химического состава и т.д. Градиент создается плавным изменением вышеперечисленных свойств, при этом структура изделия может быть представлена различными материалами [1]. Существует множество физико-химических методов получения градиентных теплоизоляционных материалов, одним из таких является многослойное формование нетканого материала путем выкладки волокнистых слоев различной плотности и/или химического состава с последующей механической скрепкой [2]. Также выделяют метод градиентной пропитки — создание градиента концентрации модификатора по толщине с помощью одностороннего нанесения. В результате формируется асимметричная структура, где одна сторона обладает повышенной теплоотражающей способностью, а обратная высокой

проницаемостью [3]. Возможен метод создания градиента с помощью использования карбонизованных при различных температурах углеродных нетканых материалов, так как повышение температуры карбонизации напрямую влияет на падение коэффициента теплопроводности [4].

Такие способы создания градиента позволяют оптимизировать состав теплоизоляции, например, в зоне высокой температуры устанавливаются более дорогие и жаростойкие материалы, а в зоне с более низкой температурой — более дешевые. Также повышается прочность теплоизоляционной конструкции на изгиб, так как многослойная структура предотвращает смятие и провисание, что облегчает ее установку. Градиент позволяет создать переходные теплоотражающие области.

Применение таких гибридных, в частности градиентных, материалов начинает вызывать большой интерес со стороны различных промышленности. Больше всего, в таких технологиях заинтересована аэрокосмическая промышленность — теплоизоляционные панели с градиентной структурой используются для защиты корпусов космических аппаратов при входе в атмосферу, в сопловых насадках ракетных двигателей и камерах сгорания. Эти детали сочетают высокую термостойкость внешних слоев с низкой теплопроводностью внутренних ячеистых структур, обеспечивая эффективную защиту при минимальном весе. В энергетическом секторе градиентные теплоизоляционные элементы создаются для газовых турбин и паровых котлов. Например, производство сопловых аппаратов турбин с интегрированной теплоизоляцией, где традиционные методы требовали бы сборки из множества отдельных деталей, а градиентные технологии позволяют изготовить цельную конструкцию с оптимизированными каналами охлаждения и теплоизолирующими полостями. Градиентные материалы используются в противопожарных преградах, дверях и перегородках, где требуется сохранение несущей способности при одностороннем нагреве. Структура с плавным переходом от плотного огнеупорного слоя к легкому термоизоляционному слою предотвращает распространение пламени и обеспечивает заданный предел огнестойкости.

Применение градиентных теплоизоляционных материалов оправдано во всех случаях, когда конструкция подвергается действию экстремальных температур, а также когда требуется минимизировать массу изделия и повысить его надежность за счет снижения термомеханических напряжений. Дальнейшее развитие технологий получения градиентных структур будет расширять спектр их применения в энергетике, транспорте и высокотехнологичных отраслях.

Список литературы

1. Андрианова, К. А. Функционально-градиентные материалы: получение,

свойства, применение (обзор)/ К.А. Андрианова, Л.М. Амирова // Журнал прикладной химии. — 2024. — Т. 97. — №2. — С. 92–113. DOI: 10.31857/S0044461824020014.

2. **Луговой, А. А.** Температуропроводность градиентного теплоизоляционного материала / А. А. Луговой, В. Г. Бабашов, Ю. В. Карпов // Труды ВИАМ. — 2014. — № 2. — С. 2–2. — DOI 10.18577/2307-6046-2014-0-2-2-2.

3. **Dobrotă, D.** Sustainable Polymer Composites for Thermal Insulation in Automotive Applications: A Systematic Literature Review / D. Dobrotă et al. // Polymers. — 2025. — Vol. 17, No. 16. — P. 2200. — DOI 10.3390/polym17162200.

4. **Фоминенко, М. О.** Влияние температуры карбонизации на коэффициент теплопроводности углеродных нетканых материалов / М. О. Фоминенко // Инновации молодежной науки : тезисы докладов всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием, Санкт-Петербург, 20–24 апреля 2026 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2026.

Христофоров Д.Е., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВОДОРАЗРУШАЕМЫЕ ПРЕФОРМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСУДОВ МЕТОДОМ НАМОТКИ

Баллоны высокого давления (БВД) широко применяются в топливных системах для авиации, аэрокосмической техники, наземного транспорта и в системах жизнеобеспечения. На сегодняшний день существует пять типов БВД: цельнометаллические (I), металлокомпозитные (II, III), полимеркомпозитные (IV) и безлейнерные композитные (V). В отечественной промышленности преобладают металлокомпозитные баллоны со стальным или алюминиевым лейнером, которые сложны в изготовлении, дороги, тяжелы и имеют сварные швы, снижающие прочность. Наиболее перспективными являются баллоны V типа (цельнокомпозитный корпус), обеспечивающие максимальные прочность и усталостные характеристики при снижении веса и себестоимости.

Для производства баллонов типа V необходимо использовать формообразующие оправки, которые могут быть удалены из готового

корпуса баллона. Наиболее технологичное решение – изготовление оправок, вымываемых водой или водными растворами реагентов.

В рамках настоящей работы предложены решения по изготовлению и применению вымываемых (водорастворимых) оправок для изготовления полых изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом намотки, в том числе баллонов и сосудов.

В ходе экспериментальной части разработаны составы компаундов для водорастворимых преформ и изучены их свойства: прочность на сжатие, ударная вязкость, скорость растворения, термостойкость и теплопроводность. Установлено, что смеси песка с поливиниловым спиртом обладают прочностью более 12 МПа, растворяются в горячей воде со скоростью 1 – 2 см³/мин, выдерживают нагрев до 180 °С и не требуют механического разрушения для извлечения из ПКМ. Для улучшения формуемости оправки и её вымывания предложены многокомпонентные составы с добавлением аморфного углерода.

Разработанные материалы апробированы при изготовлении опытных стеклопластиковых оболочек мокрой намоткой. Оправки получали заливкой в форму (гипсовую, пластиковую, силиконовую) или пневмотрамбовкой с последующей термообработкой выше 100 °С, при которой из компаунда уходит влага и происходит застекловывание связующего. После намотки и отверждения препрега оправки вымывали горячей водой (90 – 95 °С) через горловину. Полное удаление (остаток менее 0,5 % массы) достигалось за 40 – 50 минут. Отмечены чистота внутренней поверхности, отсутствие загрязнений и сохранность структуры намотанного композита. Разработанные компаунды показали высокую эффективность для изготовления изделий, имеющих ось вращения, включая баллоны высокого давления.

Христофоров Д.Е., Лукичева Н.С., Анисимов А.В., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАСЧЕТ СООТНОШЕНИЙ РАЗНЫХ ТИПОВ АРМИРУЮЩИХ НИТЕЙ В СТРУКТУРЕ ГИБРИДНЫХ ТКАНЕЙ

Путем сочетания разнотипных армирующих волокон возможно создать новое поколение конструкционных и защитных материалов с заданным комплексом эксплуатационных характеристик. Известно [1], что для углепластиков характерен высокий уровень упругопрочностных свойств и электропроводность, а введение их структуру стеклянных

наполнителей снижает прочностные показатели. Однако стекловолокнам характерна низкая теплопроводность, устойчивость к химическому воздействию, диэлектрические характеристики, которые могут быть полезны в углекомпозиатах, а также оно дешевле и его введение может положительно сказаться на стоимости изделий. С другой стороны, введение углеродных наполнителей в стеклопластики повышает их физико-механические характеристики и жесткость, что дает возможность расширить применение деталей из них. Для арамидных органопластиков свойственны высокая стойкость к механическим повреждениям, виброакустическим и усталостным нагрузкам, эрозийным воздействиям, поэтому введение, например, параарамидных волокон в стекло- и углекомпозиаты повышает уровень конструкционной прочности и устойчивость к механическому удару. Введение в угле- или стеклопластики волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) повышает ударную вязкость материалов, увеличивает энергопоглощение, а добавление волокон натурального происхождения позволяет получить более экологичные материалы. Если говорить об интересующей авторов настоящего исследования цели сочетания в композите прочностных и антифрикционных характеристик, то интересны гибридные армирующие наполнители, в которых за физико-механические свойства отвечали бы углеродные, стеклянные, базальтовые и арамидные волокна, а за трибологические и диэлектрические — фторопластовые, полиамидные, полиэфирные и СВМПЭ. Поэтому в работе было проведено расчетное моделирование гибридных тканей на основе сочетаний выбранных волокон, характеристики которых, полученные в ходе проведения экспериментов, представлены в таблице 1.

Основными показателями, характеризующими ткань, вырабатываемую на ткацком станке любой марки, являются:

- уработка нити основы, см — a_o ;
- уработка нити утка, см — a_y ;
- линейная плотность основы в текс — T_o ;
- линейная плотность утка в текс — T_y ;
- плотность ткани по основе, нитей на см длины — P_o ;
- плотность ткани по утку, нитей на см длины — P_y ;
- поверхностная плотность ткани (ПП) то есть вес 1 м^2 ткани в г.

Среди предъявляемых квалифицированным заказчиком настоящей работы (НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей») требований к разрабатываемым тканям есть критерий поверхностной плотности — не более 600 гр/м^2 . Если известны первые шесть указанных выше характеристик вырабатываемой, ткани, то её поверхностная плотность может быть легко вычислена по формулам, приведенным в [2].

Таблица 1 — Характеристики волокон для расчета их соотношений в гибридных тканях

№	Волокно/нить	Линейная плот-сть, текс	Разрывная прочность, МПа	Относительная деформация (удлинение), %	Модуль упругости, ГПа	Уработка нити на 1 м ткани, см
1	Базальтовый ровинг VCF13-300-KV12	300	820	2,48	33,06	4,6
2	Стекловолокно ВМПС8 28x2 Z100-14	56	1579	4,20	37,60	4,4
3	Углеродный ровинг Umatex UMT45-12K-EP	800	1152	1,43	80,56	4,1
4	Нить (ровинг) из СВМПЭ, ПЭ-1	48	1663	9,35	17,79	5,7
5	Параармидная нить СВМ-Н-58,8 (300)-А-1	60	4576	7,98	57,34	5,6
6	Нить полиамидная 29 текс, 40 филаментов	29	622	24,82	2,51	8,9
7	Фторопластовая монопить ПФА Ø 0,26	84	71	60,90	0,12	7,0
8	Нить полиэфирная пневмотекстурированная	38	323	87,90	0,37	8,5

Согласно проведенным моделированию и расчету тканей была предложена, представленная в таблице 2 номенклатура гибридных армирующих материалов, разработка и изучение которых представляет интерес для создания антифрикционных полимерных композитов в подшипниках скольжения. Процентное содержание нитей в ткани определяли как отношение массы одного вида нитей в 1 м² ткани к рассчитанной поверхностной плотности ткани.

Так как для целей выполнения проекта необходимо добиться максимально одинаковых характеристик как с лицевой, так и изнаночной сторон, то предлагается использование полотняного или саржевого типов переплетения нитей. Причем для получения более формостабильных образцов гибридных тканей лучше подойдет более плотное — саржевое.

Таблица 2 — Предлагаемая номенклатура и рассчитанные характеристики гибридных армирующих тканей

№	Сочетание нитей основа/уток	P_o , нитей на см длины	P_y , нитей на см длины	Рассчитанная поверхностная плотность ткани, г/м ²	Соотношение нитей в тканях
1.	Углеродное волокно / СВМПЭ	4,00	30,00	485,33	70:30
2.	Углеродное волокно / Фторопластовая нить	5,00	14,00	542,23	80:20
3.	Углеродное волокно / Полиамидная нить	4,00	46,00	478,39	70:30
4.	Углеродное волокно / Полиэфирная нить	4,00	38,00	489,79	70:30
5.	Полиэфирная нить / СВМПЭ	58,00	14,00	310,16	80:20
6.	Полиэфирная нить / Фторопластовая нить	64,00	10,00	353,75	80:20
7.	Параарамидная нить / Фторопластовая нить	50,00	20,00	490,22	60:40
8.	Базальтовое волокно / СВМПЭ	8,00	22,00	362,66	70:30
9.	Базальтовое волокно / Фторопластовая нить	12,00	18,00	538,34	70:30
10.	Стекловолоконное волокно / Фторопластовая нить	56,00	16,00	471,21	70:30
11.	Стекловолоконное волокно / Полиамидная нить	48,00	50,00	438,53	60:40

Исследование выполняется за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-13-20053, <https://rscf.ru/project/25-13-20053/>) и средств софинансирования: Санкт-Петербургского научного фонда (договор № 25-13-20053 от 12.08.2025) и квалифицированного заказчика: НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей» (договор № 23-09/2/25/11-296 от 15.07.2025).

Список литературы

1. **Анисимов, А. В.** Поливолоконные гибридные полимерные композиционные материалы (обзор). / А. В. Анисимов, Н. С. Лукичева, Д. А. Петрова, [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2026. – № 1(125). – С. 97–114. – DOI 10.22349/1994-6716-2026-125-1-97-114.
2. Теория технологических процессов ткачества. Часть 2. Методические указания / сост.: В. Ф. Булгаков.— Санкт-Петербург: СПбГУПТД, 2016.— 29 с.

Целуйкин В.Н., Трибис А.И., Тихонов Д.А.

Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Эффективным методом модифицирования стальных изделий является гальваническое никелирование. Соосаждая никель с дисперсными частицами различной природы, можно добиться усовершенствования его функциональных свойств. Покрытия, получаемые совместным электроосаждением металлов с дисперсной фазой, называют композиционными электрохимическими покрытиями (КЭП). В частности, КЭП на основе никеля обладают твердостью и стойкостью к коррозионному воздействию [1, 2]. Структура и свойства КЭП во многом обусловлены природой дисперсной фазы. Перспективными дисперсными материалами являются различные углеродные соединения, в частности, оксид графена (ОГ). Модификация ОГ азотом будет способствовать усилению его антикоррозионной активности, а также улучшению физико-механических свойств. Для этого могут быть использованы различные азотсодержащие органические соединения, среди которых выделяется триэтаноламин. Цель данной работы – получить КЭП на основе никеля с азот-модифицированным оксидом графена (АМОГ), исследовать их структуру и функциональные свойства.

Введение дисперсной фазы АМОГ в сульфатно-хлоридный электролит никелирования значительно сказывается на протекании катодных реакций. В присутствии АМОГ потенциалы смещаются в сторону более положительных значений, а токи электроосаждения КЭП возрастают по сравнению с чистым никелем, что указывает на увеличение скорости электродного процесса.

Изучение морфологии покрытий методом сканирующей электронной микроскопии позволило установить, что никель без дисперсной фазы характеризуется неупорядоченной аморфной поверхностью, тогда как микроструктура КЭП никель–АМОГ плотная и мелкокристаллическая. Включение дисперсной фазы в электрохимические осадки приводит к изменению не только их структуры, но также функциональных свойств. Существенный практический интерес представляют физико-механические характеристики металлических поверхностей, в частности, микротвердость. При переходе от чистых никелевых осадков к КЭП никель–АМОГ наблюдается рост микротвердости в 1,50 – 1,70 раза. Данный эффект

обусловлен измельчением зерна и дисперсионным упрочнением никелевой матрицы в присутствии азот-модифицированного оксида графена.

Другим важным эксплуатационным свойством электролитических покрытий является стойкость к воздействию коррозионных сред. Потенциодинамическим методом в 0,5 М растворе H_2SO_4 было исследовано коррозионно-электрохимическое поведение никелевых осадков. Из анодных потенциодинамических кривых никеля и КЭП никель–АМОГ следует, что частицы дисперсной фазы повышают потенциал и, соответственно, уменьшают ток активного анодного растворения изученных покрытий.

Исследования в 3,5 % растворе NaCl показали, что скорость коррозии КЭП никель–АМОГ снижается приблизительно в 1,50 раза по сравнению с электролитическими осадками чистого никеля. Очевидно, частицы азот-модифицированного оксида графена в никелевой матрице действуют как барьер, препятствующий распространению коррозионного процесса. Кроме того, они будут образовывать с никелем коррозионные гальванические микроэлементы, способствующие анодной поляризации. Как отмечалось выше, КЭП никель–АМОГ имеют мелкокристаллическую структуру. Поэтому наличие указанных микроэлементов в их составе будет способствовать равномерному распределению тока коррозии по поверхности, что снижает скорость коррозионного процесса.

Таким образом, при введении дисперсии АМОГ в сульфатно-хлоридный электролит никелирования формируются композиционные покрытия. Включение АМОГ в матрицу электролитического никеля приводит к изменению микроструктуры и оказывает определяющее влияние на физико-механические и коррозионные свойства изученных КЭП.

Список литературы

1. Сайфуллин, Р. С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов / Р.С. Сайфуллин. – Москва: Химия, 1990. – 240 с.
2. Целуйкин, В. Н. Композиционные покрытия, модифицированные наночастицами: структура и свойства / В.Н. Целуйкин // Российские нанотехнологии. – 2014. Т. 9. № 1-2. С. 25–35.

Цобкалло Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**МОЛЕКУЛЯРНО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В
СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЯХ**

Известно, что элементарным актом разрушения (деструкции) полимеров является разрыв ковалентной (химической) связи /1/. Деструкция валентных связей в полимерах, как правило, необратимый процесс разрыва макромолекул, который может быть вызван различными воздействиями: механическими, температурными, радиационными, химическими и др. Этот процесс крайне нежелателен при эксплуатации изделий из полимерных материалов, так как приводит к существенному ухудшению эксплуатационных свойств. Такие процессы могут являться началом разрушения материала в целом. Молекулярно-деструкционные процессы в полимерных материалах могут быть фиксированы методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) по изменению интенсивности, так называемых, деструкционно-чувствительных полос поглощения [1,2]. Однако в научной литературе такие исследования применительно к синтетическим нитям крайне ограничены, что связано с особо трудоёмкой и сложной процедурой приготовлением образцов для проведения подобных экспериментов. Но изучение и выявление молекулярно-деструкционных процессов именно в синтетических нитях, представляющих собой ориентированные структуры полимеров, является актуальной и важнейшей задачей. Связано это с тем, что такие исследования позволяют выявлять «безопасные» условия эксплуатации изделий из материалов, несущими нагрузку элементами в которых являются синтетические нити и волокна. К таким изделиям относятся и полимерные композиты, армированные текстильными материалами.

Цель настоящих исследований состояла в определении молекулярно-деструкционных процессов в синтетических нитях амидного ряда, полученных как на основе гибкоцепных, так и жёсткоцепных полимеров, в синтетических нитях полиолефинового, полиэфирного рядов. Также в задачи работы входила разработка доступного метода определения процессов протекания разрывов ковалентных связей в макромолекулах синтетических волокон и нитей различного химического строения, основанном на сопоставлении формы диаграмм растяжения с процессами накопления разрывов валентных связей в нагруженных нитях. В работе [3] была установлена взаимосвязь между формой диаграммы растяжения ориентированного алифатического полиамида и процессом протекания разрывов межзатомных связей. В настоящей работе такая взаимосвязь установлена для нитей, полученных на основе полиолефинов, ароматического полиамида, и полиэфира. Выявлены «безопасные» диапазоны значений удлинений, превышение которых приводит к разрывам химических связей в структуре у нитей и волокон. Показано, что протекание молекулярно-деструкционных процессов, в полиамидных нитях, полученных на основе гибкоцепных и жёсткоцепных полимеров

значительно отличаются. В параарамидных нитях разрывы накапливаются только при деформациях, близких к разрывным.

Установлена взаимосвязь характера диаграмм растяжения и зависимостей накопления разрывов ковалентных связей в синтетических нитях и волокнах различного химического строения. Выявлены «опасные» диапазоны деформаций и нагрузок, вызывающие существенные разрывы ковалентных связей. Данный результат является методом определения диапазонов допустимых нагрузок и деформаций, не приводящих к разрушению молекулярных структур полимеров, что может иметь важное практическое значение при эксплуатации изделий из полимерных материалов.

Список литературы

Кинетическая природа прочности твёрдых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский; М.: Наука, 1974. – 560 с.

Пахомов, П. М. Конформационная структура и механика полимеров. Монография/ П.М.Пахомов; Тверь: Тверской государственный университет, 1999. – 234 с.

Пахомов, П. М. Интерпретация кривой растяжения ориентированных полимеров / П. М. Пахомов, М. В. Шаблыгин, Е.С.Цобкалло, А. С.Чеголя // Высокомолекулярные соединения. – 1986. – Т. 28 А, – № 3. - С. 558–563.

Шагров С.Д., Витковская Р.Ф. Худяков И.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОЛИАМИННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА (III) И ХРОМА (III) НА ТЕКСТИЛЬНОМ НОСИТЕЛЕ МЕТОДОМ СТУПЕНЧАТОГО ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

При разработке гетерогенных металлокомплексных катализаторов ключевой характеристикой, определяющей возможность их многократного использования, является стабильность закрепления активной части на поверхности носителя. Недостаточная прочность связи комплекса и подложки приводит к вымыванию переходного металла в реакционную среду и снижает активность катализатора. В рамках данной работы изготовлены образцы металлокомплексов на основе бензоата железа (III) и бензоата хрома (III) на носителе – ткани марки 12bakk22.998. Для

количественной оценки прочности закрепления комплекса применена методика ступенчатого гравиметрического анализа, позволяющая зафиксировать потерю массы образцов после обработки в различных средах. Цель исследования – определение доли смываемой фракции металлокомплекса.

Связывание иона железа(III) с триэтилентетрамином (ТЭТА) осуществлялось путём координации в определенных растворителях с образованием комплекса типа $[(\text{TETA})\text{Fe}(\text{OH})_2^+]$. Полученный металлокомплекс затем вводился в эпоксидную матрицу, где раствор комплекса выступал в качестве отвердителя. Растворённая соль металла в тетрагидрофуране (ТГФ) вводилась в раствор эпоксидной смолы с ТЭТА и тщательно перемешивалась. Готовый композит полимеризовался при комнатной температуре в течение 24 часов, в результате чего активный центр прочно вшивался в полимерную сеть, обеспечивая дополнительную фиксацию на текстильном носителе и предотвращая вымывание в реакционной среде.

Процесс гравиметрического анализа включал три последовательных этапа взвешивания с промежуточной сушкой до постоянной массы. На первом этапе полученный образец помещали в предварительно взвешенный стакан. На втором этапе к образцу добавляли 50–70 мл дистиллированной воды и выдерживали при комнатной температуре в течение суток. Образец вынимали, высушивали в сушильном шкафу при 110 °С до постоянной массы и фиксировали ее значение. На третьем этапе к высушенному образцу добавляли 50 мл раствора 0,01 н соляной кислоты (рН = 2), выдерживали в аналогичных условиях в течение суток, затем отделяли, тщательно высушивали и взвешивали.

Были приготовлены образцы с различным содержанием бензоатов металлов по молям: 0,05, 0,10 и 0,15 ммоль. Результаты последовательной обработки образцов, содержащих в активной части бензоат железа (III), представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Проценты массы от реальных образцов бензоат железа (III)

Этап	Комплексообразователь Fe(III)											
	0,05 ммоль/г.вол				0,10 ммоль/г.вол				0,15 ммоль/г.вол			
	1	2	% отв	%потерь	1	2	ср	%потерь	1	2	% отв	%потерь
Отвержденный образец	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00
Обработка H ₂ O	86,84	87,55	87,20	12,80	95,80	95,34	95,57	4,43	96,33	97,20	96,77	3,23
Обработка 0,01Н HCl	78,54	78,37	78,46	21,54	90,35	88,08	89,22	10,78	92,50	93,93	93,21	6,79

Анализ изменения массы свидетельствует о том, что после выдерживания в дистиллированной воде потери массы составили 12,80 %, 4,43 % и 3,23 % от исходных масс соответствующих композитов. Указанные потери уменьшаются по мере увеличения содержания бензоата железа (III), что может быть обусловлено удалением слабо связанной или механически удерживаемой фракции. При последующей обработке в кислой среде суммарные потери массы достигли 21,54 %, 10,78 % и 6,79 % соответственно. Снижение величины потерь при более высоком содержании активного компонента указывает на формирование прочной химической связи между активным компонентом и поверхностью носителя, устойчивой в кислых средах.

Результаты последовательной обработки образцов, содержащих в активной части бензоат хрома (III), представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Проценты массы от реальных образцов (бензоат хрома (III))

Этап	Комплексообразователь Cr(III)											
	0,05 ммоль/г.вол				0,10 ммоль/г.вол				0,15 ммоль/г.вол			
	1	2	% отв	%поте рь	1	2	% отв	спПо т	1	2	% отв	%поте рь
Отвержденный образец	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00
Обработка H ₂ O	86,76	87,00	86,88	13,12	89,13	89,35	89,24	10,76	89,92	89,80	89,86	10,14
Обработка 0,01 Н НСl	85,34	85,63	85,48	14,52	87,62	87,77	87,69	12,31	88,74	89,64	89,19	10,81

В ходе исследования выявлено, что для образцов с бензоатом хрома (III) после обработки дистиллированной водой убыль массы составила 13,12 %, 10,76 % и 10,14 % соответственно, а после выдерживания в кислой среде: 14,52 %, 12,31 % и 10,81 %. Значения потерь, уменьшающиеся с увеличением содержания активного компонента, подтверждают образование прочной химической связи комплекса с поверхностью носителя, устойчивой как в нейтральных, так и в кислых средах.

Полученные результаты свидетельствуют о более идентичной стабильности закрепления бензоатов железа(III) и хрома(III) при низких концентрациях (0,05 ммоль) металлов, где общие потери массы составляют 21,54 % и 14,52 % соответственно. Однако при повышении содержания активного компонента до 0,15 ммоль бензоат железа демонстрирует существенно меньшую убыль массы (6,79 % против 10,81 % для хрома).

Шевякова Е.И., Сажнев Н.А., Кильдеева Н.Р.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

ПОЛУЧЕНИЕ БИОПОЛИМЕРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ МАГНИТОСТИМУЛИРУЕМОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ГИДРОГЕЛЕЙ

Гидрогели – полимерные системы, обладающие высокой влагоудерживающей способностью, перспективны для использования в медицине, косметологии, тканевой инженерии, фармацевтической и пищевой промышленности. Гидрогели могут быть получены на основе природных (альгинат натрия, гиалуроновая кислота, хитозан) или синтетических (поливиниловый спирт, полиакриловая кислота) полимеров. Хитозан – это единственный природный поликатионит, биосовместим и обладает собственной антимикробной активностью, рН-зависимой растворимостью в воде и высокой реакционной способностью, вследствие наличия аминных и гидроксильных функциональных групп. Данные характеристики делают хитозан подходящей матрицей для разработки гидрогелевых систем с заданными свойствами, однако применение материалов на основе хитозана зачастую ограничено их недостаточной механической прочностью. Добавление поливинилового спирта позволяет получать композиционные гидрогелевые материалы, сочетающие в себе механическую устойчивость синтетического полимера, биологическую активность и биосовместимость биополимера. Настоящее исследование посвящено получению нерастворимых в воде, но высоконабухающих гидрогелей хитозана, содержащих поливиниловый спирт (ПВС), и изучению возможности их применения в качестве носителей наночастиц магнетита. Такая система может быть использована в качестве искусственного матрикса, в котором регулирование направления и скорости роста живых тканей может осуществляться за счет магнитостимулируемой механической деформации гидрогеля.

Гелеобразующие системы были получены путем добавления к 4%-му раствору уксуснокислой соли хитозана, равного объема водного раствора ПВС с концентрацией, необходимой для установления расчетных соотношений хитозана и ПВС (Таблица 1). Для регулирования растворимости и степени набухания гидрогелей к полученной композиции добавляли раствор природного сшивающего реагента – дженипина. Для идентификации функциональных групп и изучения взаимодействий в системе ПВС – хитозан были сняты ИК-спектры пленочных образцов, полученных путем испарения растворителя.

Таблица 1 – Характеристика композиций растворов хитозан-поливиниловый спирт, использованных для получения гидрогелей

№ пп	Концентрация раствора полимеров, %		Соотношение полимеров		Содержание ПВС, % от массы хитозана	рН	η, мПа*с
	ХТЗ	ПВС	ХТЗ	ПВС			
1	2	0,66	3	1	33	4,8	59,3
2	2	2	1	1	100	4,8	261
3	2	6	1	3	300	4,8	1790
4	2	0	-	-	-	4,3	57,3
5	0	12	-	-	-	6,9	5870

Отсутствие аддитивности изменения вязкости смешанных растворов ПВС и хитозана, а также результаты ИК-спектроскопии пленок хитозана, содержащих ПВС, показали наличие межмолекулярных взаимодействий, влияющих на осмотические свойства пленок и гидрогелей.

Изучение процесса гелеобразования в исследованных растворах в присутствии дженипина (Дж) – сшивающего реагента природного происхождения [1], при разном соотношении Дж/ NH_2 хитозана показало, что при добавлении 25 % ПВС начальная скорость роста вязкости увеличивается в 2–3 раза (в зависимости от концентрации сшивающего реагента), с увеличением содержания ПВС растет индукционный период роста вязкости и снижается модуль упругости полученного гидрогеля.

Для иммобилизации в структуре гидрогелей были использованы наночастицы Fe_3O_4 , стабилизированные аминоксодержащим полимером, однако при введении в раствор хитозана и его композиции с ПВС происходила агломерация частиц до агрегатов размером 10–80 мкм. Была изучена возможность использования биоразлагаемого неионогенного ПАВ полуксамера для стабилизации наночастиц магнетита в растворах хитозана и его композиции с ПВС. На основании полученного значения ККМ для полуксамера 407 составила 0,15 %. Были выбраны концентрации ПАВ и нанодисперсные системы, не содержащие агрегатов частиц. Установлено, что введение мицеллообразующего неионного ПАВ дополнительно увеличивало время, необходимое для гелеобразования в результате сшивки хитозана. По-видимому, поверхностно-активное вещество взаимодействует с аминоксодержащими группами хитозана, экранирует и снижает вероятность их реакции с дженипином, однако это не препятствовало образованию композитного гидрогеля, также как и получению не растворимых в воде пленок хитозан-ПВС, наполненных наночастицами магнетита. Полученные результаты использованы для получения стимул-чувствительных материалов, способных изменяться под действием магнитного поля.

Список литературы

1. **Kildeeva, N.R., Privar, Y.O., Bratskaya, S.Y.** (2025). *Colloid Journal*, 87(6), 875–902.

Яковлев А.В., Яковлева Е.В., Брудник С.В.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНОГО ОКСИДА ГРАФЕНА В H_2SO_4

Электрохимический синтез многослойного оксида графена осуществляли путем анодного окисления порошка природного графита (стандарт GB/T 3518-2023, Китай) при плотности тока $0.2 \text{ A}\cdot\text{г}^{-1}$ графита с накоплением количества электричества $0.5, 0.7$ и $1.5 \text{ A}\cdot\text{ч}\cdot\text{г}^{-1}$ в $83\% H_2SO_4$. В результате сложного многостадийного процесса, включающего интеркалирование графита бисульфат ионами, сопровождающееся газовой выделением O_2 , происходит увеличение межплоскостных расстояний графитовой матрицы и расслаивание частиц. В процессе гидролиза окисленного графита эксфолиация графитовых частиц продолжается за счет поглощения молекул воды молекулами H_2SO_4 в межслоевых пространствах графитовой матрицы. Электрохимически полученный многослойный оксид графена охарактеризован методами РФА, ИК-, КР- спектроскопии, ДСК и СЭМ. Согласно данным РФА, рефлексы при $2\theta = 25.4^\circ$ и 43.5° , соответствуют фазе базального графита (002), наличие данной фазы обусловлено присутствием слабоэксфолиированных частиц. Метод РФА подтверждает наличие окисленной фазы, характерный пик для окисленных форм графена при $2\theta = 10.5\text{--}12.2^\circ$ наблюдается у образцов при накоплении количества электричества $0.5; 0.7$ и $1.5 \text{ A}\cdot\text{ч}\cdot\text{г}^{-1}$, что соответствует межплоскостному расстоянию, $7.1, 7.7$ и 8.0 \AA рассчитанному по формуле Брэгга-Вульфа.

На ИК-спектрах присутствуют полосы, соответствующие колебаниям кислородсодержащих функциональных групп гидроксильных, карбоксильных, карбонильных и эпоксидных. У образцов, синтезированных с сообщением количества электричества более $0.7 \text{ A}\cdot\text{ч}\cdot\text{г}^{-1}$, присутствует пик, характерный для валентных колебаний карбонильной связи ($-C=O$) при 1707 cm^{-1} , что характерно для многослойного оксида графена.

КР-спектр мОГ характеризуется интенсивными D и G полосами и широкой 2D-полосой. Неупорядоченность в углеродной sp^2 -матрице можно охарактеризовать с помощью отношения интенсивностей пиков D и G (ID/IG). методом КР-спектроскопии подтверждено увеличение степени

дефектности образцов мОГ ($ID/IG=0.95-1.35$) и снижение среднего размера домена мОГ ($La=16.45-12.71$).

Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГ), выявляют эндотермический пик в интервале сканирования до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и потерю массы 7% , предполагают десорбцию и испарение воды. Другой эндотермический пик появляется при $252\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кривой ДТА и сопровождается потерей массы 15% , что можно объяснить разложением лабильных гидроксильных, эпоксидных и карбоксильных кислородсодержащих функциональных групп, в том числе и между слоями полиграфеновых плоскостей. Последующая потеря массы оксида графита, вероятно, обусловлена пиролизом остаточных кислородсодержащих групп и углеродных атомов полиграфеновых плоскостей.

Морфология частиц многослойного оксида графена представляет собой последовательность упорядоченных слоев, толщина отдельных слоев составляет менее 0.1 мкм , данная морфология характерна также для окисленного графита, полученного по методу химического окисления Хаммерса-Оффемана [1, 2].

Список литературы

1. **Hummers Jr, W. S.** Preparation of graphitic oxide / W.S. Hummers Jr, R.E. Offeman // Journal of the American chemical society. – 1958. – V. 80, № 6. – P. 1339. DOI:10.1021/ja01539a017.
2. Synthesis of graphene oxides particle of high oxidation degree using a modified Hummers method / A. Alkhouzaam, H. Qiblawey, M. Khraisheh et al. // Ceramics International. – 2020. – V. 46, № 15. – P. 23997–24007. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.177>.

Яркевич А., Марценюк В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ УГЛЕРОДНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ПРЕКУРСОРА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Электроспиннинг является перспективным методом для получения нановолокон из различных полимерных растворов. Сущность метода заключается в образовании полимерных нановолокон под действием

электрического поля. Регулируя параметры формования, скорость подачи, концентрацию прядильного раствора, расстояние между иглой и коллектором, а также подаваемое напряжение, можно получать нановолокна с уникальными заданными свойствами.

Из сформованных методом электроспиннинга полимерных материалов можно получать углеродные нановолокна, которые отличаются меньшим диаметром филаментов и высокой удельной поверхностью. Традиционно углеродные нановолокна получают из полиакрилонитрильного прекурсора [1].

В данной работе в качестве волокнообразующего полимера использовали полиакрилонитрил (тройной сополимер с итаконовой кислотой), а формование проводили из его 10 масс. % раствора в диметилформамиде. В процессе электроспиннинга были экспериментально определены технологические параметры формования [2]:

- расстояние между фильерой и коллектором – 10 см;
- напряжение между фильерой и коллектором – 5 кВ;
- скорость подачи раствора – 1 мл/ч;

Для получения углеродных нановолокон проводили предокисление при температурах 250, 300 и 350 °С на воздухе, а карбонизацию при 900 °С в токе азота. Диаметр филаментов измеряли методом сканирующей электронной микроскопии. Удельное электрическое сопротивление карбонизованных нетканых материалов из нановолокон определяли непосредственно с помощью цифрового мультиметра.

Установлено, что диаметр исходных нановолокон составляет 195 ± 30 нм, тогда как после максимальной температуры предокисления в 350 °С диаметр составляет 170 ± 30 нм, т.е. происходит усадка приблизительно на 13 %. Нановолокна имеют диаметр приблизительно в 30 раз меньше, чем диаметр филаментов в полиакрилонитрильном волокне, сформованном традиционным мокрым способом из раствора.

Перед карбонизацией, предокисление нетканых материалов из полиакрилонитрильных нановолокон проводили в воздушной среде при температурах от 250, 300 и 350 °С. В первом случае нагрев происходит начиная от 25 до 100 °С. После чего температуру в печи повышают с шагом 50 °С до достижения конечной температуры термообработки 250–350 °С с выдержкой по 30 минут при каждой температуре. Во втором случае (быстрый нагрев) нагрев осуществляется от 25 °С до конечной температуры термообработки (900 °С) с выдержкой 30 минут при 900 °С.

В таблице 1 представлены значения удельного электрического сопротивления карбонизованных нетканых материалов из нановолокон, в зависимости от режима термообработки.

Таблица 1 – Зависимость удельного электрического сопротивления от режима карбонизации

Режим термообработки	Ступенчатый нагрев			Быстрый нагрев
	250→900	300→900	350→900	
Температура обработки, °С	250→900	300→900	350→900	25→900
Удельное электрическое сопротивление, кОм*см	1,2	3,0	25,0	1,5

Как видно из полученных результатов (таблица 1), электрическое сопротивление при ступенчатом нагреве различается. Однако при быстром нагреве (25→900 °С) материала электрическое сопротивление не различается в пределах погрешности, чем при ступенчатом нагреве при 250 °С. Таким образом, для получения углеродных нетканых материалов из нановолокон, сформованных методом электроспиннинга, нет необходимости проводить ступенчатый процесс предокисления полиакрилонитрила, так как продолжительности процесса карбонизации от 25 до 900 °С достаточно для осуществления процесса циклизации в следствии малого диаметра филаментов.

Список литературы

1. **Tongtong, W.** Electrospun Carbon Nanofibers and Their Applications in Several Areas / W. Tongtong, C. Zhe, G. Weibo [and et.] // ACS Omega. – 2023. – №8. – P. 22316.
2. **Яркевич, А.** Получение нетканых материалов методом электроспиннинга / А. Яркевич, В. В. Марценюк, О. В. Асташкина // Актуальные вопросы современной науки, технологии и образования : Сборник статей III Международной научно-технической конференции, Энгельс, 30–31 октября 2024 года. – Энгельс: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2024. – С. 214–218.

Яровой М.И., Свердлова Н.И., Кузнецов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

**ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИТЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА
НАТУРАЛЬНЫМ СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

Важное место среди материалов, требующих особого внимания при переработке или утилизации, занимают полимеры. Технология переработки полимерных отходов зависит от способов получения и отношению к термической и биологической деструкции. Изделия из полимеров, прошедших первый жизненный цикл, сохраняют прочностные и физико-химические характеристики могут быть переработаны в новые продукты с длительным сроком службы.

Созданию новых строительных материалов, расширяющих возможности и повышение эффективности выполняемых работ, способствуют новые подходы к совершенствованию бетона – композиционного материала с высокой прочностью, получаемого в результате формирования и затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси вяжущего вещества (цемент), крупного или мелкого наполнителя и воды. Использование бетона обязательно при любом строительстве, начиная от заливки фундамента, заканчивая утеплением различных конструкций. Существуют различные способы сделать бетон безупречным. Применение полимерных компонентов в качестве наполнителя бетона позволили получить качественно новые варианты строительного материала – полимербетона. Предварительная подготовки наполнителя, изменяет такие технические и эксплуатационные характеристики композита, как ударная прочность, плотность, пористость, водопоглощение, декоративные качества.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – термопластичный полимер, изделия из которого вырабатываются из расплава в виде синтетического волокна, пленки, кабельной изоляции, упаковочной тары для пищевых продуктов, минеральной воды и других напитков. Основной объем сырья для вторичной переработки составляют освобожденные от пищевых продуктов пластиковые бутылки. В данной работе предварительная подготовка наполнителя из ПЭТФ проводилась в условиях сохранения его макромолекулярной структуры без высокотемпературного расплава и состояла в механической переработке полимерных бутылок как модифицирующего компонента в виде и добавления крошки, полосок, волокон, нетканого материала в цементно-песочную смесь. Полученный полимербетон может быть рекомендован в качестве строительного материала с новыми свойствами. Бетон, содержащий волокнистый материал имеет повышенную структурную целостность.

Установлено, что использование модифицирующего бетон компонента из ПЭТФ в виде крошки, полосок, волокон, нетканого материала в цементно-песочную смесь в качестве наполнителя, влияет на такие технологические свойства, как ударная прочность, теплопроводность, огнестойкость, плотность.

Экспериментальная оценка свойств, полученных образцов полимербетонов показала, что изменение формы наполнителя привело к приобретению устойчивости к образованию усадочных трещин, возникающих во время затвердения бетона и многократного увеличения сопротивляемости ударной нагрузки, уменьшению теплопроводности, что дает возможность рекомендовать модифицированный полимербетон для дальнейшего совершенствования в качестве строительного материала с новыми свойствами.

Научное издание

НАНОСТРУКТУРНЫЕ, ВОЛОКНИСТЫЕ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Материалы XVI всероссийской научной и студенческой
конференции с международным участием
«Наноструктурные, волокнистые и композиционные
материалы» имени профессора А.А. Лысенко**

Санкт-Петербург, 12–13 мая 2026 года

Составитель Д.А. Петрова

Материалы публикуются в авторской редакции

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF
Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202688 по паролю.
– Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 19.05.2026 г. Рег. № 88/26

ФГБОУВО «СПбГУПТД»
Юридический и почтовый адрес:
191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18.
<http://sutd.ru>