

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

# **ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ О ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**  
VI Международной научной конференции

Санкт-Петербург  
2025

**УДК 678:001.895(063)**

**ББК 35.71:30.36я43**

**И66**

**И66**      Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах: тез. докл. 6-й междунаро- д. науч. конф. / С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – 98 с.

**ISBN 978-5-7937-2870-6**

Международная научная конференция с 02.12.2025 г. по 03.12.2025 г.

Оргкомитет:

Макаров А. Г. - д-р техн. наук, профессор, председатель

Вагнер В. И. - канд. техн. наук, доцент, куратор конференции

Жукова Л. Т. - д-р техн. наук, профессор

Иванов К. Г. - д-р. физико-мат. наук, профессор

Иванов О. М. - д-р техн. наук, профессор

Иванова С. Ю. - канд. техн. наук, доцент

Киселев А. М. - д-р техн. наук, профессор

Максимов. В. В. - д-р техн. наук, профессор

Переборова Н. В. – д-р. техн. наук, доцент

Рожков Н. Н. - д-р техн. наук, профессор

Сашина Е. С. - д-р хим. наук, профессор

***Конференция финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ, Проект № FSEZ-2023-0003.***

**УДК 678:001.895(063)**

**ББК 35.71:30.36я43**

**ISBN 978-5-7937-2870-6**

**©ФГБОУВО СПбГУПТД, 2025**

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е. А. Лукьяненко</i> ДЕКОРАТИВНЫЕ 3D-ПАНЕЛИ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ	8
<i>И. Ш. Абдуллин, М. З. Гараев, К. Ш. Мастюков, Ф. Р. Сагитова, Ф. С. Шарифуллин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С АРМИРУЮЩИМ ИЗ АМОРФНОГО ДВУОКСИ КРЕМНИЯ В ВИДЕ ВОЛОКОН И ТКАНИ	9
<i>Г. А. Кодирова, М. А. Олимов, З. К. Мухиддин, М. У. Шарофова</i> ЭМУЛЬСИОННЫЕ ГЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ МАСЛОМ ОБЛЕПИХИ ( <i>PIRRORHAE RHAMNOIDES L.</i> ), <i>IN VIVO</i>	10
<i>Е. С. Цобкалло</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЯХ АМИДНОГО РЯДА	11
<i>А. Г. Макаров, И. М. Егоров</i> МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	12
<i>Ш. Хуршедзода, З. У. Шерова, С. У. Усманова, З. К. Мухиддин</i> ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛОДОВ РОЖКОВОГО ДЕРЕВА ( <i>CERATONIA SILIQUA L.</i> )	14
<i>Р. М. Хазиахмедова, А. И. Валиуллина, А. Р. Валеева, С. А. Забелкин, В. Н. Башикиров</i> СИНТЕЗ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗНЫХ ФРАКЦИЙ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНОЙ ФАНЕРЫ	15
<i>А. С. Шелепова, Г. М. Миргалеев, С. В. Шилова</i> ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ	16
<i>М. Г. Петрова, О. И. Ширин, В. А. Липин</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ДИОКСИДА ХЛОРА ЕМЕС LOTUS EASY В ОТБЕЛКЕ КРАФТ-ЦЕЛЛЮЛОЗЫ	17
<i>А. А. Шрайнер, Е. С. Цобкалло</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЭНДОПРОТЕЗОВ: МЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ	19
<i>М. В. Абашкин, В. В. Васильева, А. П. Михайловская</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫХ РУКАВОВ	20
<i>Н. В. Переборова</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	21

<i>Н. Р. Федюченко, М. Г. Петрова, О. И. Ширин, В. А. Липин</i> «ЗЕЛЕННЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ СУЛЬФАТНЫМ МЕТОДОМ	23
<i>Е. С. Цобкалло, С. В. Гладков, А. Ф. Тихомиров</i> ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПКМ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4	24
<i>А. А. Куликов, А. Д. Хусаинов, С. И. Вольфсон</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ОСНОВЕ ГИДРИРОВАННОГО СОПОЛИМЕРА БУТАДИЕНА С АКРИЛОНИТРИЛОМ И АБС-ПЛАСТИКА СТОЙКОГО К АГРЕССИВНЫМ СРЕДАМ	25
<i>А. А. Шарпапова, А. А. Буринская</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ZnO, Cu <sub>2</sub> O и ZnO/Cu <sub>2</sub> O В ПРОЦЕССАХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ	26
<i>Е. С. Цобкалло</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕСТРУКЦИИ КОВАЛЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ В СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЯХ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММ РАСТЯЖЕНИЯ	27
<i>С. В. Киселев</i> ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	28
<i>И. Н. Ганиев, Ф. Холмуродов, С. Р. Олимиоева, А. Г. Сафаров</i> УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА AlFe <sub>5</sub> Si <sub>10</sub>	31
<i>А. Е. Прохорова, А. Ю. Кузнецов, Е. П. Шишова</i> ВЛИЯНИЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ НА СТЕПЕНЬ СШИВКИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА	32
<i>М. П. Смирнова, А. А. Буринская, А. А. Шрайнер, Е. С. Цобкалло</i> ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ ЭНДОПРОТЕЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА	33
<i>В. И. Вагнер, М. А. Егорова</i> МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	34
<i>Л. Н. Ахметзянова, О. И. Гладунова</i> ПОЛЫЕ МИКРОСФЕРЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	36
<i>А. А. Бужак, Е. П. Шишова, А. Ю. Кузнецов</i> ИСКУССТВЕННАЯ ПОЧВА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА С ДОБАВЛЕНИЕМ ГЛУТАРОВОГО АЛЬДЕГИДА	37
<i>Ю. Ю. Вилачева, О. В. Асташкина</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (ОБЗОР)	38

<i>И. М. Егоров</i> ПРОВЕДЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГО- ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	39
<i>Н. А. Воронина, О. И. Гладунова</i> ОЦЕНКА СМАЧИВАМОСТИ СВМПЭ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «СИДЯЧЕЙ» КАПЛИ	42
<i>Е. Ю. Гаврилюк, А. А. Азанова</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОРЕЗИНЕННЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	43
<i>О. И. Гладунова, Л. Н. Ахметзянова, Ю. Ю. Вилачева</i> РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ И РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	44
<i>А. М. Литвинов, А. А. Козлов</i> ДЕФОРМАЦИОННО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	45
<i>И. В. Елохин, В. В. Васильева, А. П. Михайловская</i> ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ	47
<i>И. И. Латфуллин, Г. Р. Рахматуллина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ	48
<i>А. А. Коптилова, О. А. Молоканова, Е. С. Цобкалло</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ	49
<i>А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина, О. И. Яковлева</i> УМНАЯ ОДЕЖДА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ	50
<i>А. А. Козлов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	51
<i>И. И. Латфуллин, К. И. Максимова</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПОЛНЕНИЯ МАТЕРИАЛА КАПИЛЛЯРНО- ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ РАЗРЯДОМ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ	54
<i>В. В. Иванова, Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская</i> БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЛЬНОПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	55
<i>И. М. Егоров</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	56

<i>Т. Б. Кольцова, Е. С. Цобкалло, Г. П. Мещерякова</i> ВЗАИМОСВЯЗЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ С РЕЛАКСАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ	59
<i>А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина</i> СОРБИРУЮЩИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ОДЕЖДЫ	60
<i>М. А. Егорова</i> ПРОВЕДЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПОЛЗУЧЕСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДНЫХ НИТЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	61
<i>Н. В. Дианкина, А. С. Кухаренко</i> ПОЛУЧЕНИЕ СОРБИЦИОННО АКТИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛА	63
<i>Ю. А. Лимич, Д. А. Петрова, С. И. Джумама</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛУЗГИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	64
<i>Е. М. Мазуркевич, Н. С. Лукичева, В. А. Хохлова</i> ВЛИЯНИЕ ХЛОРГЕКСИДИНА НА ЭКЗОТЕРМУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ	65
<i>М. А. Егорова, И. М. Егоров</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	66
<i>А. С. Николаева, А. В. Труевцев, В. В. Рябущенко</i> ДВОЙНОЙ ПЛАТИРОВАННЫЙ КУЛИРНЫЙ ТРИКОТАЖ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	69
<i>А. А. Козлов, С. В. Киселев</i> ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	70
<i>М. С. Переход, Д. А. Петрова, С. И. Джумама</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	73
<i>М. А. Егорова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА РЕЛАКСАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	74
<i>Е. А. Перфильева, В. В. Марценюк</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ И ИЗБЫТКА ОТВЕРДИТЕЛЯ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО	77
<i>Д. В. Пушкарь, И. В. Елохин, А. П. Михайловская</i> ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА В ТЕРЕФТАЛЕВУЮ КИСЛОТУ	78
<i>Д. Р. Пылаев, О. М. Чернов, А. Ю. Кузнецов</i> ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, НАПОЛНЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ	79

<i>Б. М. Примаченко</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	80
<i>М. З. Рустамова, Л. П. Мясникова, Е. С. Цобкалло</i> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ НИТИ ИЗ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ОТ ШАГА СКРУТКИ	81
<i>С. В. Киселев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	82
<i>Е. В. Саклакова, П. С. Некрытов, А. В. Анисимов, О. В. Асташкина</i> НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ВЭУ)	85
<i>Д. Г. Сейталиева, Н. С. Лукичева</i> ПОДБОР ТЕМПЛАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА	87
<i>Д. Е. Христофоров, А. Ю. Кузнецов</i> ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПАУНДЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОДОРАЗРУШАЕМЫХ ПРЕФОРМ ПОД НАМОТКУ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ	88
<i>Е. В. Саклакова, Е. А. Гурьянова, А. А. Безруков</i> СВОЙСТВА И МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ГРАФЕНОВ	89
<i>Е. П. Ширишова, Н. В. Дианкина</i> АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЛАСТИКОВ	90
<i>Е. Д. Коробова, Н. В. Дащенко</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФТАЛОЦИАНИНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТА САМООЧИЩЕНИЯ	91
<i>Е. В. Саклакова, А. А. Безруков, О. И. Гладунова, О. В. Асташкина</i> ЭПОКСИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ГРАФЕНОМ	93
<i>А. А. Козлов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	94
<i>Э. Б. Цатурян, Л. Р. Дюкина, С. С. Туганов, А. С. Акмалова, В. Е. Проскурина</i> МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ НАНОКОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕАГЕНТ ДЛЯ БИОПРИМЕНЕНИЙ	96

# МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**Е. А. Лукьяненко**

Витебский государственный технологический университет

## ДЕКОРАТИВНЫЕ 3D-ПАНЕЛИ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Актуальные тенденции в интерьерном дизайне направлены на применение инновационных материалов, сочетающих эстетическую выразительность, прочность и технологическую эффективность. В этом контексте особый интерес представляет использование декоративных 3D-панелей из армированных полимерных композитов.

Армированные полимерные материалы представляют собой композиции на основе термореактивных или термопластичных смол (эпоксидных, полиэфирных, акриловых), в которые введены армирующие наполнители - стеклянные, углеродные или базальтовые волокна [3]. Такая структура обеспечивает высокие физико-механические свойства при малой массе изделия. Панели устойчивы к воздействию влаги, температурных колебаний и ультрафиолетового излучения, что делает их универсальными для жилых и общественных интерьеров.

Трёхмерный рельеф поверхности формируется методом вакуумного или пресс-формования. Использование современных цифровых технологий проектирования и 3D-печати оснастки позволяет создавать сложные геометрические формы и оригинальные текстуры [2]. Декоративные панели могут имитировать природные материалы - камень, дерево, ткань, металл - при сохранении лёгкости и прочности.

3D-панели из армированных полимеров характеризуются высокой износостойкостью и ударопрочностью, низкой массой и удобством монтажа, а также обеспечивают возможность интеграции подсветки и формирования оптических эффектов, что расширяет диапазон возможных дизайнерских и функциональных решений.

Современные исследования направлены на повышение адгезии волокон к полимерной матрице, снижение себестоимости и улучшение экологических характеристик [1]. Перспективным направлением является использование биоразлагаемых полимеров и растительных волокон, что позволит создавать экологически устойчивые декоративные покрытия нового поколения.

### Список литературы

1. Аристов В.В., Киселёва О.В. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства и области применения // Химия и химическая технология. 2021. Т. 64. № 4. С. 45–52.
2. Лапшин И.В., Горюнов С.А. Использование композиционных материалов в архитектуре и дизайне интерьера // Вестник строительства и архитектуры. 2020. № 3. С. 88–93.
3. Фрид Дж.Р. Полимерная наука и технология. Пер. с англ.; под ред. В.П. Шульца. 4-е изд. М.: Техносфера, 2022. 672 с.

**И. Ш. Абдуллин<sup>1</sup>, М. З. Гараев<sup>2</sup>, К. Ш. Мастюков<sup>3</sup>, Ф. Р. Сагитова<sup>4</sup>,  
Ф. С. Шарифуллин<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ООО «Плазма-ВСТ»

<sup>2</sup>ООО «МИТЭТ Инжиниринг»

<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева — КАИ

<sup>4</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С АРМИРУЮЩИМ ИЗ АМОРФНОГО ДВУОКСИ КРЕМНИЯ В ВИДЕ ВОЛОКОН И ТКАНИ**

В работе объектами исследования выбраны два вида неорганических волокон – стекловолокна и стеклоткани на их основе.

Определение характеристик волокнистых материалов и композиционных материалов (КМ) осуществлялось с помощью стандартных и разработанных в данной работе методов. Полученные данные сравнивались с результатами других исследователей, которые получены как экспериментальным, так и теоретическим путем.

Изучение процесса обработки с помощью плазмы на исследуемые материалы осуществляется путем сравнения полученных характеристик со значениями данных без плазменного воздействия. При этом все образцы, как контрольные, так и выбранные для обработки брались из одной и той же партии материала.

В таблице 1 представлены результаты исследования методом термомеханического анализа КМ (АДКТ, ПМ-ЭД-20).

**Таблица 1.** Значение  $T_{крит.}$  для КМ с армирующим из АДКВ без воздействия потока низкоэнергетических ионов (ПНЭИ) и с воздействием ПНЭИ при различных значениях ПСМ

Содержание массы эпоксидной смолы, %	$T_{крит}$ образцов, °С	
	Контрольный	Опытный
20	241,7	339,6
40	212,4	328,0
60	200,5	325,3
80	208,1	312,4

Выводы: воздействие ПНЭИ в смеси аргон-воздух (70/30) позволяет увеличивать, так и уменьшать термостойкость материалов из СВМПЭ-волокон. Наилучшими параметрами воздействия ПНЭИ в смеси аргона-воздух:  $W_p = 1,2 \text{ кВт}$ ,  $t = 60 \text{ с}$ ,  $P = 26,6 \text{ Па}$ ,  $G = 0,04 \text{ г/с}$ , которые увеличивают значение  $T$  начала уменьшения  $m$  на 2,5% (36°C).

### **Список литературы**

1. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Кашапов Н.Ф. Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. Казань: Изд. Казанск. ун-та, 2000. 348 с.
2. Сагитова Ф.Р., Шарифуллин Ф.С. Экологическая модификация стекловолокон для получения высококачественных полимерных композитов: изучение результатов плазменного воздействия // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2025. Т. 71. № 1. С. 43-47.

**Г. А. Кодирова<sup>1</sup>, М. А. Олимов<sup>2</sup>, З. К. Мухиддин<sup>1</sup>, М. У. Шарофова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский национальный университет

<sup>3</sup>Институт медицины Авиценны и фармакологии

## **ЭМУЛЬСИОННЫЕ ГЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ МАСЛОМ ОБЛЕПИХИ (*HIPPORHAE RHAMNOIDES L.*), *IN VIVO***

Использование новых технологий и препаратов, таких как полимерные гидрогели и эмульсионные гелевые покрытия с инкапсулированными активными ингредиентами, имеет отличные перспективы для ускорения заживления ран и улучшения восстановления тканей.

В данном исследовании дана оценка и характеристика морфофизиологических изменений кожи и функционального состояния фибробластов в области ожоговой раны при применении пектинового геля с инкапсулированным маслом облепихи.

Нами был разработан полисахаридный гидрогель на основе низкометоксилированного яблочного пектина и абрикосовой камеди с инкапсулированным маслом облепихи (*Hipporhæ rhamnoides L.*) [1], изучены морфофизиологические особенности заживления ожоговой раны у крыс при применении его гелевой формы [2].

В данном сообщении представлены результаты сравнительной оценки процесса заживления ран с применением эмульсионных гелей на основе пектина и полисахарида из абрикосовой камеди с инкапсулированным маслом облепихи – далее «Гель ОМ». Проведены исследования эффективности заживления ожоговых ран с использованием «Гель ОМ» и жидкого пластыря «Пласт» на 32 однополых белых беспородных крысах. Экспериментальные животные были разделены на две группы - по 16 особей в каждой. Группа А – основная группа, использующая «Гель ОМ» (пектиновый наногель с маслом облепихи). Группа В – контрольная группа, использующая жидкий пластырь «Пласт».

Для исследования были использованы ткани, взятые с участка раны, которые подвергались различным методам обработки и окраски для последующего анализа. В обеих группах микроскопическое исследование срезов тканей показало, что заживление ран на 3-й и 7-й дни происходило с одинаковой скоростью. Однако в группе В3 на 14-й день процесс реэпителизации был более выражен, чем в группе А3. На 21-й день в группе А4 наблюдалась неравномерная регенерация эпителия с участками гиперпролиферации, в то время как в группе В4 заживление ран происходило быстрее и более полно.

«Гель ОМ» продемонстрировал хорошие результаты, и это позволяет рекомендовать данное разработанное средство для применения в медицине для восстановления гистологической структуры кожи и ускорения регенерации ожоговых ран, особенно на более поздних стадиях заживления.

## Список литературы

1. Shamsara O., Muhidinov Z.K., Jafari S.M., Bobokalonov J., Jonmurodov A., Taghvaei M. et al. Effect of ultrasonication, pH and heating on stability of apricot gum–lactoglobuline two layer nanoemulsions // International Journal of Biological Macromolecules. 2015. Vol. 81. P. 1019-1025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.09.056>.
2. Олимов М.А., Шарофова М.У., Ходжаева Ф.М., Холбеков А.Д., Бобокалонов Д.Т. IN VIVO Исследование ранозаживляющей активности полисахаридного геля с инкапсулированным облепиховым маслом (HIPPOPHAE RHAMNOIDES) // Вестник Авиценны. 2023. № 25(1). С. 84-93. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2023-25-1-84-93>.

## Е. С. Цобкалло

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЯХ АМИДНОГО РЯДА

Различные механические воздействия на полимерные материалы, в том числе и на синтетические волокна и нити могут приводить к протеканию деструкционных процессов в макромолекулах. Отмечено, что молекулярно-деструкционные процессы приводят к появлению в макромолекулах значительного числа новых стабильных группировок, возникающих в результате гибели свободных радикалов, образующихся при разрывах ковалентных (химических) связей которые могут быть выявлены в определенных областях инфракрасного спектра (ИКС) полимера в виде появления или увеличения интенсивности полос поглощения в определённых областях частот спектра. Такие полосы были отнесены к так называемым деструкционно-чувствительным полосам поглощения. Больше число работ, посвящённых глубокому изучению молекулярно-деструкционных процессам в нагруженных полимерных материалах, представлены учёными ФТИ РАН им. А.Ф.Иоффе. Результаты этих исследований изложены в монографии [1]. В этих работах подробно рассмотрены свободно-радикальные процессы, происходящие в результате разрывов валентных связей в макромолекулах гибкоцепных полимеров и указаны стабильные группировки, образующиеся в результате этих процессов и соответствующие им полосы поглощения. Но исследования, посвящённые изучению молекулярно-деструкционных процессов в нагруженных элементарных (одиночных) синтетических нитей практически отсутствуют, несмотря на несомненную их актуальность. Связано это прежде всего с решением важнейшего вопроса, относящемуся к способам приготовления образцов волокон для их последующего спектроскопического исследования. Задача препарирования при ИКС исследовании волокон без заключается в получении оптически гомогенного образца, имеющего ровную поверхность. Единственно возможный, хотя и очень трудоемкий метод получения образцов одиночных волокон без разрушения их структуры состоит в тщательной параллельной укладке моноволокон (в нашем случае элементарных нитей диаметра около 8 микронн). В работе при изучении разрывов химических связей в волокнах использовался именно такой подход. В настоящей работе процесс деструкции химических связей исследовался в нагруженных нитях капрон и СВМ. Следует отметить, что молекулярно-деструкционные процессы в ароматических

полиамидах методом ИК-спектроскопии ранее не изучались. Проведенные исследования ИК-спектров волокон СВМ показали, что и в ИК - спектрах ароматических полиамидов наблюдается полоса поглощения с максимумом на частоте  $1742\text{ см}^{-1}$ , которая может быть использована для изучения разрывов межатомных связей в высокоориентированных структурах параарамидов. Впервые были проведены исследования разрывов межатомных связей в нагруженных элементарных нитях параарамидов

### **Список литературы**

1. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твёрдых тел. М.: Наука. 1974. 560 с.
2. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. М.: Химия. 1984. 280 с.

**А. Г. Макаров, И. М. Егоров**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методология математического моделирования деформационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов основана, прежде всего, на анализе физико-механического поведения указанных материалов в деформационно-восстановительных режимах нагружения этих материалов [1].

Для полноценного исследования и прогнозирования деформационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов с целью улучшения качества соответствующих изделий, предлагается проведение исследований основополагающих деформационно-эксплуатационных процессов - релаксации и ползучести, характеризующих основные физико-механические свойства рассматриваемых материалов [2].

Такое исследование целесообразно осуществить на основе математического моделирования с последующим компьютерным прогнозированием релаксации и ползучести [3].

Процессы релаксации и ползучести, хотя и имеют различную физическую природу, по сути, являются взаимобратными процессами, гармонично дополняя друг друга [4].

В силу этого, исследование релаксационных и деформационных характеристик полимерных текстильных материалов, относящихся, преимущественно, к классу вязкоупругих твердых тел, является задачей необходимой, а в ряде случаев, и достаточной [5].

Переход при математическом моделировании деформационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов от функциональной зависимости времен релаксации от деформации к константе оправдан, когда требуется оценить лишь качественные свойства материалов [6].

Такой переход заметно упрощает математическую модель, что немаловажно при исследовании качественных характеристик вязкоупругости [7].

Следует заметить, что при более детальном исследовании функциональных деформационно-восстановительных процессов, например, с позиции спектрального анализа, такой переход к упрощенной математической модели неоправдан [8].

Выбор в качестве основы математической модели релаксации функции нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ) не случаен, так как вероятностное распределение Коши, интегральной функцией распределения которого она является, обладает замечательным свойством: сумма характеристик, распределенных по вероятностному закону Коши, также имеет своим распределением вероятностное распределение Коши [9].

Для материалов текстильной промышленности выполнение этого правила чрезвычайно важно, так как любой сложный текстильный объект представляет собой совокупность более простых текстильных объектов (нити состоят из волокон, ткани из нитей и т.д.) [10].

Поэтому, если параметры более простых текстильных материалов будут подчиняться вероятностному распределению Коши, этому же распределению будут подчинены и параметры более сложных текстильных материалов [11].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

#### **Список литературы**

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.
4. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.
5. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.
6. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Моделирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 102-109.
7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов в швейных материалах при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 21-27.

8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Исследование деформационных и вязкоупругих свойств полиэфирных нитей различной крутки с целью уменьшения затрат на их производство // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 14-20.

9. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.

10. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.

11. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.

## **Ш. Хуршедзода, З. У. Шерова, С. У. Усманова, З. К. Мухиддин**

Институт химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

### **ПОЛИФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЛОДОВ РОЖКОВОГО ДЕРЕВА (*CERATONIA SILIQUA L.*)**

Количественное определение общего содержания полифенольных соединений (ПФС) плодов рожкового дерева (кароб), а также идентификация и оценка свойств отдельных компонентов ПФС.

Анализ компонентного состава проводился в системе капиллярного зонного электрофореза *3D Agilent G1600AX* (Германия), оснащённой диодной матричной детекторной системой. Управление и обработка данных осуществлялись с использованием программного обеспечения *3D-CE Agilent ChemStation B.02.01 SR2*. Калибровка прибора выполнялась на основе 18 стандартных образцов фенольных соединений.

Для анализа были подготовлены водно-спиртовые экстракты стручков и семян рожкового дерева в различных концентрациях для получения достоверных количественных показателей.

Основными компонентами ПФС семян были смеси эллаговой и гомогентизиновой кислот (46,73%), так как они элюируются при одинаковом времени удерживания; синапиновая кислота (22,33%); и 2-(4-гидроксифенил)этанол (10,35%). В то время как у стручков содержание синапиновой кислоты было наибольшим (53,94%), за которой было также обнаружено высокое содержание 2-(4-гидроксифенил) этанола (25,00%) и гомогентизиновой кислоты (11,89%).

Синапиновая кислота - органическое соединение, производное коричной кислоты. Она обладает антиоксидантными, противовирусными, и кардиопротекторными свойствами и противораковым эффектом [1].

Эллаговая кислота – это природный полифенол, содержащийся во многих фруктах и орехах, таких как гранат, клубника и грецкие орехи, известные своими антиоксидантными, а также потенциальными противовоспалительными и противораковыми свойствами [2]. Гомогентизиновая кислота образуется в процессе метаболизма аминокислот фенилаланина и тирозина, выступая промежуточным продуктом их распада в организме животных и человека.

В последние годы натуральные продукты привлекают всё большее внимание при разработке новых лекарственных препаратов. Как показали наши исследования, плоды кароба, произрастающего в Таджикистане, являются одними из потенциальных природных источников полифенольных соединений. Эти соединения обладают важными антиоксидантными свойствами, связанными, прежде всего, с наличием гидроксильных групп в их молекулярной структуре. Натуральные продукты являются неотъемлемой частью процесса разработки новых лекарственных препаратов.

### **Список литературы**

1. Pandi A., Kalappan V.M. Mechanisms involved in the anticancer effects of sinapic acid // Bulletin of the National Research Centre. 2022. Vol. 46(1). P. 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00943-5>.
2. Sharifi-Rad J., Quispe C., Castillo C.M.S., Caroca R., Lazo-Vélez M.A., Antonyak H. et al. Ellagic Acid: A Review on Its Natural Sources, Chemical Stability, and Therapeutic Potential // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2022. P. 1-24. doi: 10.1155/2022/3848084.

**Р. М. Хазиахмедова, А. И. Валиуллина, А. Р. Валеева, С. А. Забелкин,  
В. Н. Башкиров**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

### **СИНТЕЗ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗНЫХ ФРАКЦИЙ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНОЙ ФАНЕРЫ**

В условиях истощения запасов ископаемого сырья актуализируется задача перехода на возобновляемые ресурсы, среди которых наиболее доступной является растительная биомасса, характеризующаяся коротким циклом воспроизводства. Эффективным методом её переработки выступает пиролиз [1], посредством которого возможна трансформация неделовой древесины и отходов лесопромышленного комплекса в полезные продукты [2, 3]: древесный уголь, газообразные и жидкие пиролизные фракции.

Наибольший научно-практический интерес среди продуктов пиролиза биомассы представляют жидкие фракции, что обусловлено сложностью и разнообразием их химического состава. В частности, пиролизная жидкость рассматривается в качестве перспективного сырья для выделения ценных химических соединений, включая фенолы. В рамках настоящего исследования разработан метод сепарации фенольной фракции из жидких продуктов пиролиза древесной биомассы. Синтез смолы осуществляли на лабораторной установке, состоящей из стеклянной трехгорлой колбы номинальным объемом 500 мл, оснащенной обратным холодильником, механической мешалкой и термометром.

Экспериментальная фенолоформальдегидная смола, синтезированная с использованием фенольной фракции жидких продуктов пиролиза, представляет собой непрозрачный темный продукт со слабым запахом копчения. Физико-химические показатели смолы соответствуют требованиям ГОСТ 20907-2016. Процесс склеивания осуществляли на лабораторном гидравлическом прессе с термостатированными плитами  $(125\pm 3)^{\circ}\text{C}$  при давлении 1,76-1,96 МПа в течение 9 минут. Из полученных пакетов вырезали шесть стандартных образцов по ГОСТ 9620, которые подвергали часовому кипячению в воде с последующим определением прочности на универсальной в соответствии с методикой ГОСТ 9624.

### **Список литературы**

1. Валиуллина А.И., Валеева А.Р., Забелкин С.А. [и др.] Переработка отходов скорлупы фундука методом быстрого абляционного пиролиза // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3(55). С. 111-115. DOI 10.18324/2077-5415-2022-3-111-115.
2. Сабирзянова А.И., Валеева А.Р., Бикбулатова Г.М., Хазиахмедова Р.М. Деструкция модифицированного биополиолами пенополиуретана под воздействием искусственно созданных климатических факторов // Молодежь и XXI век - 2021: Материалы XI Международной молодежной научной конференции. Том 5. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 382-385.
3. Бикбулатова Г.М., Валеева А.Р., Валиуллина А.И. [и др.] Разработка способа очистки сточной воды, образующейся при получении фенолзамещающей фракции из жидких продуктов быстрого пиролиза древесины // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 4(56). С. 147-152. DOI 10.18324/2077-5415-2022-4-147-152.

**А. С. Шелепова, Г. М. Миргалеев, С. В. Шилова**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

### **ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

Современные задачи в области биомедицины стимулируют активный поиск новых функциональных материалов, сочетающих в себе комплекс свойств: биосовместимость, управляемость и multifunctionality. Особый интерес в этом контексте представляют магнитные наноконпозиты, которые позволяют осуществлять адресную доставку лекарственных веществ. Однако основная проблема при разработке подобных систем заключается в обеспечении стабильности магнитных наночастиц (МНЧ), предотвращении их агрегации, потенциальной токсичности и восприимчивости к окислению воздухом. Покрытие этих частиц различными материалами, включая природный полимер хитозан (ХТЗ), может способствовать повышению их биосовместимости и стабильности. Хитозан выгодно выделяется среди других полимеров для создания наночастиц, своей гидрофильности, биосовместимости, бактерицидным и мукоадгезивным свойствам.

Для проведения работы были применены природные полисахариды хитозана с молекулярной массой  $M_r$  38700, степенью деацетилирования 80% (ЗАО «Биопрогресс», г. Щелково),  $\kappa$ -каррагинан («Molecularmeal») и порошок оксида железа (магнетит) (Китай).

На начальном этапе исследования был получен полиэлектролитный комплекс

(ПЭК), состоящий из хитозана (ХТЗ) и каррагинана (КРГ). Был проведен анализ формирования комплексов в зависимости от, концентрации и соотношения исходных полиэлектролитов. Образование ПЭК происходит вследствие формирования ионно-перекрестных сетчатых структур между двумя разноименно заряженными полиэлектролитами, взаимодействующими в водной среде. Дальнейшая функционализация наночастиц магнетита, модифицированных ПЭК, была основана на методе химического осаждения, как наиболее подходящем способе получения композитных частиц. Для установления оптимальных условий взаимодействия МНЧ, функционализированных ПЭК, оценивали влияние рН среды, времени перемешивания раствора магнетита с ПЭК, их массы и концентрации, а также оценивали влияние времени перемешивания в процессе комплексообразования ПЭК с МНЧ в интервале времени.

Осуществление доставки лекарственных и вспомогательных веществ (наночастиц магнетита) требует предварительной иммобилизации данных компонентов в носитель. Для достижения данной цели представляется целесообразным исследование механизмов взаимодействия полимерного носителя с лекарственным веществом и магнитными наночастицами. Для этой цели проводили сравнительный анализ ИК-спектров магнетита, функционализированного ПЭК, и частиц исходного магнетита. В спектре исходных наночастиц магнетита имеется характерный пик при  $577\text{ см}^{-1}$ . В ИК-спектре МНЧ, модифицированных комплексом хитозана с каррагинаном, присутствует характерная для магнетита полоса поглощения  $570\text{ см}^{-1}$ , что подтверждает иммобилизацию частиц магнетита в полимерной матрице. Методом динамического светорассеяния изучен характер изменения размера и электрокинетического потенциала частиц полиэлектролитного комплекса в присутствии наночастиц магнетита. Функционализация МНЧ полиэлектролитным комплексом приводит к снижению среднего размера магнитных наночастиц и росту положительной величины дзета-потенциала. Таким образом, модификация поверхности магнетита полиэлектролитным комплексом позволяет повысить его стабильность в водных растворах и снизить агрегацию его частиц.

Проведенное исследование показало перспективность модификации наночастиц магнетита полиэлектролитным комплексом хитозана с k-каррагинаном для использования в качестве адресной системы доставки лекарственных веществ.

**М. Г. Петрова, О. И. Ширин, В. А. Липин**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ДИОКСИДА ХЛОРА ЕМЕС LOTUS EASY В ОТБЕЛКЕ КРАФТ-ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Технология отбелки с использованием диоксида хлора в качестве отбеливающего агента – ЕСF - является наиболее современной и широко распространенной в целлюлозно-бумажном производстве (ЦБП). Диоксид хлора позволяет не только селективно удалять лигнин и гемицеллюлозу, но и придавать продукту отбелки необходимую совокупность свойств. Существующие способы получения диоксида хлора на предприятиях ЦБП, как правило, предусматривают использование токсичных

реагентов, включая такие как диоксид серы и метанол, а использование таких технологий может приводить к коррозии оборудования [1].

Высокие затраты по созданию и последующей эксплуатации установок по производству диоксида хлора и необходимость в наличии обученного персонала для эксплуатации и обслуживания этих установок, специфичность и высокая стоимость реактивов для его синтеза обуславливают необходимость поиска аппаратурно-технологических решений, которые позволяют стабильно и безопасно производить диоксид хлора для целей отбелки. При получении диоксида хлора всё больше отдается предпочтение процессам восстановления, не производящим к получению сульфата натрия в качестве побочного продукта и использующим соляную кислоту вместо серной кислоты [2].

В данной работе исследовалась возможность использования установки ЕМЕС LOTUS EASY, ранее использованных для обеззараживания воды и очистки стоков различного происхождения [3]. Обработке диоксидом хлора подвергались несколько типов целлюлозы, включая частично отбеленную промышленную крафт-целлюлозу из древесины лиственных и хвойных пород, каждая из которых была отбелена с помощью последовательности отбелки КЩО-ЕР, а также неотбеленную крафт-целлюлозу из хвойных пород древесины.

Число Каппа образцов целлюлозы было определено в соответствии с ISO 302-2015, содержание альфа-целлюлозы – по ГОСТ 6840-78, степень полимеризации образцов определяли по вязкости растворов в кадоксене на капиллярном вискозиметре с диаметром капилляра 0,73 мм. в соответствии с ГОСТ 25438-82.

Полученные результаты показали, что использование диоксида хлора на последней стадии отбелки привело к улучшению и стабилизации численных значений измеряемых физико-химических параметров - Числа Каппа, содержания альфа-целлюлозы, степени полимеризации и др.

### **Список литературы**

1. Hintz H.L., Lawal S.A. Paper: Pulping and Bleaching. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. 2018. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11233-0.
2. US Pat 6761872B2. Method for generating chlorine dioxide. 13.07.2004.
3. Psakis G., Spiteri D., Mallia J., Polidano M., Rahbay I., Valdramidis V.P. Evaluation of Alternative-to-Gas Chlorination Disinfection Technologies in the Treatment of Maltese Potable Water // Water. 2023. V. 15(8). P. 1450. DOI: 10.3390/w15081450.

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЭНДОПРОТЕЗОВ: МЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ**

Актуальность темы обусловлена значительным распространением грыжевых дефектов и необходимостью применения долговечных, безопасных и функционально стабильных материалов отечественных производителей. Современное развитие технологий направлено на создание облегченных, более гибких и адаптивных (модифицированных) сетчатых эндопротезов, что способствует улучшению послеоперационных результатов и снижению осложнений. Полипропиленовые эндопротезы являются наиболее распространёнными по применению в реконструктивной и абдоминальной хирургии, в частности при герниопластике. Важными факторами, определяющими клиническую эффективность и биологическую совместимость эндопротезов, выступают механические свойства, обеспечивающие их функциональность. Показано, что разрывные (прочностные) характеристики хирургических сеток не всегда могут служить основными показателями, определяющими функциональность медицинских материалов в хирургической практике. В проведенных исследованиях определены значимые деформационные характеристики исследуемых синтетических сетчатых эндопротезов, влияющие на функциональность. Известно, что на деформационной кривой трикотажных полотен чётко обозначаются два участка, отличающиеся наклоном к оси деформации. В работе показано, что наиболее значимыми деформационными характеристиками эндопротезов являются деформационные показатели первого участка диаграмм растяжения: длина участка; наклон кривой к оси деформации, характеризующий жёсткость материала. Кроме того, близость значений деформационных характеристик в разных направлениях полотна также является важным показателем, определяющим функциональные свойства эндопротезов.

Проведенная модификация поверхности полипропиленовых сетчатых эндопротезов наночастицами серебра обеспечивает стойкое антимикробное действие против клинически значимых бактерий и грибов. Полученные покрытия характеризуются однородностью и удовлетворительной адгезией к волокнам полимера, что делает их перспективными для клинического применения. Покрытия из коллагена, фиброина шелка способствуют заживлению раны без образования спаек, а также позволяют вводить различные лекарственные формы. Определена различная скорость биodeградации таких покрытий. Предложен возможный механизм адгезии этих покрытий к поверхности ПП эндопротезов.

Понимание механических характеристик полипропиленовых эндопротезов позволяет совершенствовать хирургические методики и улучшать клинические результаты. Успешное использование хирургических сеток основано на сочетании благоприятных биомеханических характеристик, высокой биосовместимости и возможности выбора эндопротеза под клинические задачи.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫХ РУКАВОВ**

Технология производства плоскосворачиваемых рукавов основана на прохождении расплавленного полимерного материала сквозь тканый каркас, выступающего в роли армирующего слоя. Тканый каркас изготавливают на круглоткацких станках с применением полиэфирных нитей разной линейной плотности. При прохождении через нагретую до 200–210 °С экструзионную фильеру нити контактируют с расплавом полиуретана, в результате чего их физико-механические свойства существенно меняются. Понимание механизмов деградации и характеров изменения свойств под влиянием термической нагрузки является критически важным при проектировании плоскосворачиваемых рукавов, так как разрывное давление рукава напрямую зависит от прочностных свойств используемых нитей.

Одним из наиболее критичных параметров является влияние температуры на прочность при растяжении полиэфирных нитей. Экспериментальные данные показывают, что при температурах до 180 °С происходит незначительное изменение прочности. Однако при дальнейшем увеличении температуры наблюдается более заметное падение прочности.

Второй важный фактор – длительность термического воздействия. Скорость деградации, приводящая к потере физико-механических свойств, увеличивается с ростом времени выдержки при фиксированной температуре. При производстве плоскосворачиваемых рукавов, в зависимости от скорости подачи каркаса, время нахождения нити в горячей фильере может достигать пяти минут. Поэтому важно знать временные пороги, после которых свойства нитей резко ухудшаются.

С этой целью были подготовлены образцы полиэфирной нити линейной плотности 550 текс, выдержанные в термошкафу от 2 до 5 мин при разных температурах. Измерение прочности производилось на разрывной машине «Instron-1122» после предварительного кондиционирования. Так, было установлено, что выдерживание нити при температуре 210 °С потеря прочности при растяжении составляет приблизительно 2-30 % в зависимости от длительности воздействия. Кроме того, значительно повышается удлинение при разрыве и может увеличиться примерно в 2,5 раз по сравнению с исходным образцом.

Таким образом, зная длину «горячей» зоны фильеры, можно рассчитать оптимальную скорость линии, при которой термическая нагрузка минимально влияет на физико-механические свойства нитей. Полученные данные позволяют вводить поправочные коэффициенты в теоретический расчёт разрывного давления рукава, что сокращает число дорогостоящих опытных испытаний при разработке и освоении новых типоразмеров.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Предлагаются новые критерии качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения, получаемые на основе исследования параметров-характеристик математических моделей релаксационных и восстановительных процессов указанных материалов [1].

Разработанные критерии позволяют провести качественную оценку релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения, что значительно сокращает технико-экономические затраты на проектирование указанных материалов с заданными релаксационными и восстановительными свойствами, так как отпадает необходимость в изготовлении опытных партий этих материалов [2].

Разработанный на основе математического моделирования релаксационно-восстановительного процесса полимерных текстильных материалов технического назначения метод определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов позволяет проводить оценку их качественных характеристик по релаксационно-восстановительным параметрам [3].

Для оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагается несколько разработанных критериев, которые могут быть объединены в единый интегрированный критерий в силу того, что все релаксационно-восстановительные параметры оценки свойств указанных материалов подчинены вероятностному закону Коши и включают в себя оценку их качества [4].

Для оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагаются следующие критерии [5]:

- критерий интенсивности восстановления материала после эксплуатации;
- критерий степени восстанавливаемости материала после эксплуатации;
- критерий возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации;
- временной критерий восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации;
- критерий устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации.

Количественную оценку параметров в рамках предлагаемых критериев релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения предлагается проводить в безразмерных единицах, по следующим критериям [6]:

- критерию интенсивности восстановления материала после эксплуатации;
- критерию степени восстанавливаемости материала после эксплуатации;
- критерию возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации;
- временному критерию восстановления функционально-потребительских

свойств материала после эксплуатации;

- критерию устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации.

Вероятностное распределение Коши является достаточно близким к нормальному распределению, отличаясь от него некоторыми свойствами, например, более медленной сходимостью интегральной функции к своим асимптотическим значениям [7].

Это свойство распределения Коши позволяет с большей достоверностью обрабатывать статистические выборки, обладающей значительной степенью рассеянности, что как раз и характеризует выборочные совокупности релаксационно-восстановительных характеристик полимерных текстильных материалов технического назначения [8].

На основе вышеперечисленных локальных критериев качественной оценки релаксационных и восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения и с учетом аддитивности вероятностного распределения Коши был разработан комплексный интегрированный критерий оценки релаксационно-восстановительных свойств указанных материалов [9].

Разработанные пять локальных и один интегрированный критерий качественной оценки релаксационных и восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения служат средством сравнительного анализа и технологического отбора указанных материалов, обладающих заданными функциональными свойствами.

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Макаров А.Г., Слущер Г.Я., Дроботун Н.В., Васильева В.В. Анализ диаграмм растяжения ориентированных волокон полипропилена // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 26. № 4. С. 57-63.
2. Макаров А.Г., Егоров И.М. Математическое моделирование вязкоупругих процессов морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 4. С. 23-32.
3. Макаров А.Г., Киселёв С.В., Рыбачук С.В., Зурахов В.С. Высокоскоростное деформирование одноосно-ориентированных полимерных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2011. № 2(17). С. 64-66.
4. Макаров А.Г., Шванкин А.М. Математическое моделирование деформационных процессов арамидных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2016. № 1. С. 10-14.
5. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 28-30.
6. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.
7. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.

8. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости текстильных материалов // Текстильная промышленность. 2006. № 1-2. С. 55-57.

9. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности // Текстильная промышленность. 2006. № 8. С. 14-16.

**Н. Р. Федюченко, М. Г. Петрова, О. И. Ширин, В. А. Липин**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **«ЗЕЛЕННЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ СУЛЬФАТНЫМ МЕТОДОМ**

Процесс отбели cellulose представляет собой многоступенчатую последовательную процедуру, осуществляемую двумя или более химикатами для достижения высокой белизны cellulose. Хлорсодержащие соединения являются важнейшими и наиболее селективными отбеливающими химикатами. Отбели с их использованием сопровождается множеством химических реакций. Фенол, смолы и лигнин, присутствующие в древесине, вступают в реакцию с хлорсодержащими реагентами, что приводит к образованию высокотоксичных и не поддающихся биологическому разложению загрязнителей. Тип хлорорганических соединений зависит от типа гемицеллюлоз и содержания остаточного лигнина в целлюлозе. Хлорорганические соединения вносят значительный вклад в токсичность сточных вод, они обладают свойством биоаккумуляции и имеют тенденцию к сохранению, поэтому их обычно называют стойкими органическими загрязнителями. У водных животных, подвергавшиеся воздействию сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов обладают свойствами, вызывающими у водных организмов мутагенность, респираторный стресс, генотоксичность и т. д. [1,2].

В области отбели cellulose за последние годы было проведено множество изменений в связи с необходимостью соблюдения экологических норм. Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) постоянно меняет процесс отбели, чтобы минимизировать использование соединений на основе хлора для удовлетворения нормативных и рыночных требований. Для предприятий, производящих беленую целлюлозу и продукцию из нее, создание замкнутого водооборотного цикла затруднено или невозможно. Причина заключается в попадании в оборотную воду хлорорганических соединений и хлорида натрия, нарушающих технологический процесс.

АОХ является важным параметром для проверки токсичности сточных вод отбели. Многие технологии очистки сточных вод, такие как процесс с использованием активного ила, аэрируемый стабилизационный пруд, анаэробный процесс, могут очищать соединения АОХ, но не до норм сброса, которые составляют для большинства стран 0,25 кг/т в.с.ц. Для предприятий российской ЦБП, содержание АОХ в очищенных сточных водах заводов, производящих беленую сульфатную целлюлозу, ограничивается не столь жестко и не должно превышать 0,4 кг/т в.с.ц. [3]. Проведенный анализ промышленных схем отбели показал, что включение КЩО и сокращение схемы

отбелки до 3-4 ступеней позволяет достичь требований по сбросу АОХ со сточными водами ЦБП.

### Список литературы

1. Hubbe M.A., Metts J.R., Hermosilla D., Blanco M.A., Yerushalmi L., Haghghat F., Lindholm-Lehto P., Khodaparast Z., Kamali M., Elliott A. Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities // BioResources. 2016. Vol. 11(3). P. 7953-8091. DOI: 10.15376 / BIORES.11.3.HUBBE
2. Sharma N., Bhardwaj N.K., Prashad S., Ram B. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A Review // Journal of Cleaner Production. 2020. P. 120338. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120338
3. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-1 2023. [Электронный ресурс]. URL: [https://meganorm.ru/mega\\_doc/norm/zaklyuchenie/0/its\\_1-2023\\_informatsionno-tekhnicheskiiy\\_spravochnik\\_po.html](https://meganorm.ru/mega_doc/norm/zaklyuchenie/0/its_1-2023_informatsionno-tekhnicheskiiy_spravochnik_po.html). (дата обращения 23.10.2025).

**Е. С. Цобкалло<sup>1</sup>, С. В. Гладков<sup>1</sup>, А. Ф. Тихомиров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПКМ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА-4

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен, Ф-4) обладает целым комплексом уникальных характеристик. В электронике и электротехнике фторопласт-4 используется прежде всего благодаря его исключительно высоким диэлектрическим свойствам: удельное сопротивление материала  $\rho = 10^{17} - 10^{20}$  Ом.м; диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 1,9-2,2$ ; тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta \sim 10^{-3}$ . Однако, сферу использования фторопласта-4, по нашему мнению, можно существенно расширить, используя полимер как матрицу для создания полимерных композиционных материалов (ПКМ). Нами изучены электрические свойства ПКМ на основе фторопласта-4 с использованием наполнителей с широким спектром электрических характеристик – проводников, полупроводников, диэлектриков. По результатам работы сделаны следующие выводы.

Композиции Ф-4 с проводящими углеродными наполнителями (грален) позволяют получать ПКМ с диапазоном изменения удельного электрического сопротивления  $\rho$  от  $10^{15}$  до  $10^{-2}$  Ом.м. Имеет место достаточно низкий по концентрации наполнителя порог протекания (5% об.), что позволяет добиться высоких значений проводимости изделий при относительно низком содержании гралена. С учетом высокой термостойкости полимера это позволяет использовать такие композиции для изготовления нагревательных элементов, работающих в диапазоне температур, недостижимых для ПКМ на основе других полимеров. Сочетание высокой проводимости ПКМ с низким коэффициентом трения Ф-4 дает возможность защищать трущиеся детали от накопления статического электричества при использовании его в качестве подшипников, прокладок и т.п. изделий.

Использование в качестве наполнителя полупроводников, обладающих нелинейными полевыми зависимостями проводимости, открывает новые возможности для широкого применения ПКМ на основе фторопласта-4. В частности, наполнение

полимера порошком оксида цинка ZnO дает возможность получать материалы с нелинейной зависимостью  $\rho$  от напряженности электрического поля  $E$  (варисторным эффектом) [1]. Варисторный эффект (зависимость  $\rho(E)$ ) имеет различную степень проявления в зависимости от концентрации полупроводника в полимерном композите, что дает возможность получать материалы с требуемым комплексом функциональных свойств. Преимуществами ПКМ по сравнению с керамическими изделиями из оксида цинка является меньшая масса, защищенность полупроводника полимерной матрицей от действия атмосферных факторов, более широкие возможности придавать изделиям геометрические формы, недоступные при использовании керамических технологий.

### **Список литературы**

1. Тихомиров А.Ф., Цобкалло Е.С. Полимерные композиционные материалы с нелинейными эффектами проводимости // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Нальчик: Издательство «Принт-Центр». 2024. С. 298.

**А. А. Куликов, А. Д. Хусаинов, С. И. Вольфсон**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ОСНОВЕ ГИДРИРОВАННОГО СОПОЛИМЕРА БУТАДИЕНА С АКРИЛОНИТРИЛОМ И АБС-ПЛАСТИКА СТОЙКОГО К АГРЕССИВНЫМ СРЕДАМ**

Ассортимент полимерной индустрии расширяется и развивается с каждым днем все сильнее, предлагая различные варианты материалов, которые могут эксплуатироваться в различных средах. Среди таковых материалов можно выделить отдельный класс полимеров – термоэластопласты (ТЭП), а ТЭП подвергшиеся динамической вулканизации, также называют ДТЭП или ТПВ. За счет подобного строения ТПВ, материал является гибридным материалом. Так, эластомерная часть позволяет быть материалу эластичной, гибкой и способной к деформации под приложением нагрузки. При нагреве же происходит расплавление и течение жесткой термопластичной фазы, создающее возможность быть переработанным одним из доступных методов для термопластов [1].

Выбор каучука и вулканизирующей системы носит важную роль при приготовлении ДТЭП. Так, традиционное сочетание типа эластомер-термопласт по типу СКЭПТ-ПП, СКИ-ПП, СКЭПТ-ПЭ не является оптимальным из-за слабой стойкости к агрессивным средам и как следствие, низких упруго-прочностных показателей в результате проведенных испытаний. Для решения данной задачи в основном подходит замена неполярных каучуков на полярные. Подобное решение мы найдем, если обратимся к гидрированному сополимеру бутадиена с акрилонитрилом (ГБНК). За счет реакции присоединения атомов водорода к макромолекулам каучука, ГБНК сохраняет высокую стойкость к алифатическим углеводородам, а за счет минимального содержания остаточных двойных связей, в результате гидрирования – изделие будет иметь улучшенные упруго-прочностные свойства.

В проведенной работе было исследована стойкость ТПВ на основе ГБНК к воздействию агрессивных сред. Состав ТПВ включает в себя ГБНК марки Zhanber

ZN35056 и АБС-пластик 0646. В качестве вулканизирующей системы – сера техническая. ТПВ были получены при соотношении каучук-пластик 70/30 и 75/25 мас.ч. В результате проведенных физико-механических испытаний, ТПВ при содержании 4-6 мас. ч. вулканизирующего агента проявляет наиболее высокие показатели упруго-прочностных свойств (условная прочность при разрыве – 15 МПа, относительное удлинение при разрыве – 320%). Испытание на стойкость к воздействию агрессивных сред были проведены как при комнатной, так и при температуре 70 °С. Соответствующие образцы также показали лучшую стойкость, так степень набухания в средах СЖР-1, масло гидравлическое и масло моторное не превышает 5-6%. В бензине же степень набухания находится в пределах 8-10%.

Проведенные исследования показали, что разработанный ТПВ обладает лучшей стойкостью в сравнении с эластомерными композициями на основе данного каучука.

### **Список литературы**

1. Хакимуллин Ю.Н., Охотина Н.А. Термоэластопластичные материалы на основе блоксополимеров: учебное пособие. Казань: Изд- во КНИТУ, 2014. 80 с.

### **А. А. Шарапова, А. А. Буринская**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ $ZnO$ , $Cu_2O$ и $ZnO/Cu_2O$ В ПРОЦЕССАХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ**

Проблема очистки органических загрязнителей в сточных водах остаётся важной проблемой химической технологии и экологии. Красители, фармацевтические и поверхностно-активные вещества обладают высокой химической стабильностью, что затрудняет их удаление традиционными методами. Фотокаталитическое окисление позволяет осуществлять минерализацию органических веществ до низкомолекулярных нетоксичных продуктов при мягких условиях, что делает его перспективной основой для «зелёных» технологий водоочистки. Наночастицы оксидов переходных металлов, такие как  $ZnO$  и  $Cu_2O$ , являются стабильными и эффективными фотокатализаторами. Под действием УФ-излучения они генерируют электрон-дырочные пары, инициирующие образование реактивных форм кислорода, ответственных за окисление органических загрязнителей. В результате происходит разрушение органических загрязнителей до простейших соединений ( $CO_2$ ,  $H_2O$  и др.).

В настоящей работе наночастицы  $ZnO$ ,  $Cu_2O$  и би-компонентные  $ZnO/Cu_2O$  синтезированы методом химического восстановления из солей металлов (сульфат цинка, сульфат меди) в водных растворах стабилизатора ПЭГ-1500. Концентрации исходных солей варьировали в диапазоне 0,8-1,2 мМ для однокомпонентных систем и 0,8/0,8-1,2/1,2 мМ для би-компонентных, соответственно. С использованием полученных коллоидных растворов наночастиц была модифицирована углеродная ткань, выступающая носителем (подложкой) для наночастиц.

Для оценки фотокаталитических свойств модифицированной углеродной ткани применялся периодический способ очистки сточных вод. В качестве модельных органических загрязнителей использовались краситель метиленовый голубой и молочная кислота. Фотокаталитические исследования проводили в режиме погружения.

Модифицированную ткань помещали в раствор красителя метиленового голубого и молочной кислоты и облучали УФ-светом типа UVA, UVB. Дegradацию красителя оценивали с помощью спектрофотометра УФ-6700 по снижению оптической плотности при  $\lambda = 658$  нм относительно эталонного раствора. Дegradацию молочной кислоты оценивали по изменению pH. Наилучшие результаты фотокаталитического действия получены с использованием модифицированной ткани при следующих исходных концентрациях солей:  $\text{ZnSO}_4 - 1,0$  мМ,  $\text{CuSO}_4 - 1,2$  мМ, би-компонентных – 0,8/0,8 мМ, соответственно. С использованием модифицированной углеродной ткани наступает полная дegradация красителя метиленового голубого в течение 30 минут и молочной кислоты в течение 15-30 минут.

Таким образом, углеродная ткань, модифицированная наночастицами  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  и их би-компонентным сочетанием, демонстрирует высокую эффективность в фотокаталитической дegradации метиленового голубого и молочной кислоты в периодической схеме очистки. Оптимизация состава и концентрации фотокатализатора позволяет целенаправленно повышать производительность систем очистки сточных вод, что делает предложенный способ перспективным для внедрения в технологические решения водоочистки.

## **Е. С. Цобкалло**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕСТРУКЦИИ КОВАЛЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ В СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТЯХ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММ РАСТЯЖЕНИЯ**

Механические нагрузки на синтетические волокна и нити могут приводить к протеканию в структурах крайне нежелательных молекулярно-деструкционных процессов, т.е. разрывов ковалентных (химических, межатомных) связей в макромолекулах. Такие процессы могут являться началом разрушения материала в целом. Показано [1,2], что молекулярно-деструкционные процессы в полимерах могут быть исследованы методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) по изменению интенсивности деструкционно-чувствительных полос поглощения. Однако в научной литературе такие исследования применительно к синтетическим нитям практически отсутствуют, тем более к элементарным синтетическим нитям, имеющим размеры сечения около 8-10 мк, что связано с крайне трудоёмкой и сложной процедурой приготовлением образцов для проведения подобных экспериментов.

В связи с этим, цель настоящих исследований состояла в разработке более простого и доступного метода определения процессов протекания разрывов ковалентных связей в макромолекулах синтетических волокон. В работе [3] была установлена взаимосвязь между формой диаграммы растяжения ориентированного полиамида и процессом протекания разрывов межатомных связей. В настоящей работе такая взаимосвязь установлена для синтетических нитей полиолефинового, полиамидного и полиэфирного рядов. Предложен экспресс-метод определения по кривым растяжения граничных значений удлинений, превышение которых приводит к деструкционным процессам у нитей полиолефинового, полиамидного, полиэфирного и полиакрилонитрильного рядов. Определены предельные значения «безопасных» деформаций. Показано, что процессы накопления разрывов в нитях полиамидов,

полученных на основе гибкоцепных и жёсткоцепных имеют существенные отличия несмотря на существование двух зон деформирования, характеризующихся различным протеканием молекулярно-деструкционных процессов. Показано, что процесс накопления разрывов химических связей в нитях из жёсткоцепных полимеров (параарамидах) происходит по «критическому» механизму, т.е. разрывы возникают при деформациях, близких к разрывным. В нитях, полученных на основе гибкоцепных полимеров (капрон, полипропилен, полиэтилен) можно выделить диапазоне значений деформаций и напряжений, вызывающие накопления межатомных связей в макромолекулах.

Диаграммы растяжения являются простым и наиболее распространенным методом оценки деформационных и прочностных свойств материалов. В работе установлена взаимосвязь вида кривых растяжения и зависимостей, характеризующих разрывы химических связей у различных синтетических нитей. Показана возможность определения «опасных» диапазонов деформирования и нагружения нитей на основе анализа диаграмм растяжения. Данный результат имеет важное практическое значение, т.к. и может служить методом определения деформационных и структурных характеристик, основанным на экспресс-испытаниях.

### **Список литературы**

1. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твёрдых тел. М.: Наука. 1974. 560 с.
2. Пахомов П.М. Конформационная структура и механика полимеров. Монография. Тверь: Тверской государственный университет.
3. Пахомов П.М., Шаблыгин М.В., Цобкалло Е.С., Чеголя А.С. Интерпретация кривой растяжения ориентированных полимеров // Высокомолекулярные соединения. 1986. Т. 28А. № 3. С. 558-563.

### **С. В. Киселев**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Полимерные текстильные материалы находят все более широкое применение в различных отраслях техники. Этим вызван возрастающий интерес к исследованию функциональных и эксплуатационных свойств этих материалов [1].

Важными функциональными свойствами полимерных текстильных материалов технического назначения во время эксплуатации являются их релаксационные и восстановительные свойства [2].

Именно поэтому следует уделять особое внимание изучению этих свойств указанных материалов через математическое моделирование и системный анализ их релаксационных и восстановительных процессов [3].

В направлении исследования функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов ведутся работы по применению уравнений

наследственной механики полимеров к текстильным материалам [4].

Различия в предлагаемых решениях объясняются их сложностью. Наибольшего внимания заслуживают те варианты решений, когда имеется физическая обоснованность выбранных уравнений в сочетании с минимумом количества используемых параметров [5].

Следует заметить, что изучение механических свойств указанных материалов, проявляющихся в условиях эксплуатации, гораздо сложнее, чем измерение только лишь разрывных характеристик, которые далеки от объективной оценки свойств материала. Задача значительно усложняется, когда у полимерных текстильных материалов помимо вязкоупругих свойств проявляются также и пластические свойства, т. е. появляется необратимый компонент деформации, которому также следует уделять внимание [6].

Особую ценность имеет решение такой задачи для полимерных текстильных материалов, когда помимо сопоставления механических свойств материалов приходится также делать расчеты на условия эксплуатации изделий [7].

Без измерений таких простых процессов как ползучесть, релаксация и восстановление такую задачу решить невозможно [8].

При изучении функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов особого внимания заслуживают следующие направления исследования [9]:

- анализ общего случая проявления реологических свойств полимерных текстильных материалов - когда имеют место все компоненты деформации (упругий, вязкоупругий и пластический);
- разработка новых методов исследования вязкоупругости полимерных текстильных материалов на основе математического моделирования деформационных процессов;
- разработка методик прогнозирования процессов деформирования, протекающих при повторном действии нагрузки или напряжения в условиях появления необратимого компонента деформации;
- анализ достаточности кратковременных измерений ползучести, релаксации и восстановления для прогнозирования указанных процессов деформирования в условиях появления необратимого компонента деформации;
- анализ взаимосвязи используемых наследственных ядер запаздывания и релаксации, а также возможности и эффективности их совместного использования;
- разработка критериев выбора оптимальной математической модели деформационных свойств;
- разработка комплексов программ на основе методик определения вязкоупругих характеристик и прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов, способствующих решению задач целенаправленного оптимального технологического отбора материалов, обладающих определенными функционально-эксплуатационными свойствами, повышения экономической эффективности производств полимерных текстильных материалов и улучшению качества выпускаемой продукции.

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

## Список литературы

1. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 28-30.
2. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.
3. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Титова Л.В. Математическое моделирование вязкоупругих свойств швейных армированных полиэфирных нитей // Химические волокна. 2021. № 4. С. 3-7.
4. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.
5. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.
6. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4(382). С. 229-234.
7. Демидов А.В., Гребёнкин А.Н., Иванов К.Г., Переборова Н.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, применяемых в швейной, обувной и текстильной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2011. № 5(20). С. 19-21.
8. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости текстильных материалов // Текстильная промышленность. 2006. № 1-2. С. 55-57.
9. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности // Текстильная промышленность. 2006. № 8. С. 14-16.

**И. Н. Ганиев, Ф. Холмуродов, С. Р. Олимшоева, А. Г. Сафаров**

Физико-технический институт им. С. У. Умарова Национальной академии наук  
Таджикистана

## **УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА AlFe5Si10**

В настоящей работе теплоёмкость сплава AlFe5Si10 определялась в режиме «охлаждения» по известной теплоёмкости эталонного образца из меди [1]. Для чего обработкой кривых скоростей охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlFe5Si10 и эталона получены полиномы, описывающие их скорости охлаждения:

$$\frac{dT}{d\tau} = abe^{-b\tau} + pke^{-k\tau}.$$

где  $a=488,96K$ ,  $b=6,66 \cdot 10^{-3}c^{-1}$ ,  $p=328,56K$ ,  $k=5,02 \cdot 10^{-5}c^{-1}$ ,  $ab=3,25Kc^{-1}$ ,  $pk=1,65 \cdot 10^{-2}Kc^{-1}$  - постоянные для данного образца;  $\tau$ -время охлаждения

Далее, по экспериментально найденным величинам скоростей охлаждения образцов из сплавов и эталона, зная их массы, были установлены полиномы температурной зависимости теплоёмкости сплавов и эталона, которые описываются четырёхчленным уравнением:

$$C_{p_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3$$

где  $a=-4049,29\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ,  $b=29,50\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^2)$ ,  $c=-5,33 \cdot 10^{-2}\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^3)$ ,  $d=3,13 \cdot 10^{-5}\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^4)$  - постоянные для данного образца;  $T$  - температура

Определяя значения удельной теплоёмкости алюминиевого сплава AlFe5Si10 и экспериментально полученные значения скорости охлаждения, вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава AlFe5Si10 по уравнению:

$$a = \frac{C_{p_0}^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S},$$

Используя интегралы от теплоёмкости были установлены модели температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплавов по:

$$[H^0(T) - H^0(T_0^*)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4);$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0^*)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3);$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0^*)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)],$$

где  $T_0^* = 298,15K$ . Полученные зависимости показывают, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшается.

## **Список литературы**

1. Умаров М.А., Ганиев И.Н. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций свинца марки С2 // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 1. С. 23-29.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ВЛИЯНИЕ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ НА СТЕПЕНЬ СШИВКИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА**

Гидрогели на основе поливинилового спирта (ПВС) – это трехмерные полимерные сетки, способные удерживать воду, что обуславливает их широкое применение в медицине, фармацевтике, биотехнологии и сельском хозяйстве. В медицинской отрасли такие гидрогели используются для изготовления биосовместимых имплантов, раневых покрытий, систем контролируемого высвобождения лекарственных препаратов и в тканевой инженерии. Кроме того, гидрогели на основе ПВС активно применяются как влагоудерживающие агенты и компоненты растительных субстратов.

Для повышения механической прочности и стабильности гидрогелей традиционно применяют формалин – агент химической сшивки, способный создавать прочные связи в полимерной матрице. Однако токсичность и канцерогенность формалина значительно ограничивают его использование. В связи с его высокой опасностью для здоровья, ведется активный поиск нетоксичных альтернатив. Одним из таких перспективных альтернатив считается альгинат натрия – природный полисахарид, способный при взаимодействии с ионами кальция формировать гидрогели с межцепочечной сшивкой. В сочетании с ПВС альгинат натрия способствует образованию гелевых структур, однако степень сшивки, достигаемая при этом, обычно ниже по сравнению с формалиновым методом.

В ходе работы было показана возможность сшивки растворов ПВС 2 – 3 % растворами альгината натрия, но гидрогели, полученные в результате, были не эластичными, легко разрушались при внешнем давлении. Для улучшения эластических и прочностных свойств гидрогелей было решено вводить в состав формалин в малых количествах совместно с растворами альгината натрия.

Изучение комбинированного использования альгината натрия и малых количеств формалина проводили на серии образцов на основе 10 – 11 % растворов ПВС. Альгинат натрия во всех образцах вводился в количестве 15 % от объема раствора полимера, а количество формалина варьировалось от 1 до 5 %.

Результатом работы стало то, что альгинат натрия в использованных концентрациях не проявил себя как эффективный самостоятельный сшивающий агент в данной системе и не смог компенсировать отсутствие достаточного количества сшивателя. Гель не образовывался, либо образовывалась крайне непрочная, нестабильная структура. Такое малое количество формалина оказалось совершенно недостаточным для инициации эффективной сшивки поливинилового спирта.

Проведенное исследование демонстрирует, что альгинат натрия не может служить полноценной заменой формалину в качестве сшивающего агента для поливинилового спирта. Установлено, что малые количества формалина до 5 %, вместо 10-12% рекомендованного, в сочетании с использованными низко концентрированными растворами альгината натрия не обеспечивают формирования стабильной сшитой структуры гидрогеля. Полученные результаты свидетельствуют о поиске иных нетоксичных сшивающих агентов либо о варьировании концентрации и объема вводимого альгината натрия с целью достижения требуемой степени сшивания полимерной матрицы.

**М. П. Смирнова, А. А. Буринская, А. А. Шрайнер, Е. С. Цобкалло**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ ЭНДОПРОТЕЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА**

В настоящее время полипропилен (ПП) является распространенным материалом для эндопротезов. Полипропиленовые сетчатые эндопротезы широко используются в хирургии для пластики грыж и реконструкции мягких тканей и др. [1]. Однако, колонизация поверхности эндопротеза бактериями и грибами остаётся причиной значимой доли послеоперационных осложнений. В связи с этим, разработка модификации поверхности эндопротезов является актуальной задачей в области медицинского материаловедения. Одними из наиболее перспективных путей модификации эндопротезов являются нанесение покрытий, способствующих быстрейшему заживлению ран без осложнений и улучшающих их функциональные свойства. Цель настоящей работы состоит в разработке методов и способов модификации отечественных хирургических эндопротезов для герниопластики. В работе в качестве антимикробных агентов в покрытиях использовались наночастицы серебра (НЧ Ag). Антимикробные покрытия на основе наночастиц серебра (Ag – НЧ) рассматриваются как эффективный способ профилактики инфекций за счёт подавления роста микроорганизмов и препятствия формирования биоплёнок. Для синтеза устойчивых коллоидных растворов наночастиц серебра использовали аминокислоты: L-гистидин, L-аргинин, L-лизин. Спектрофотометрически были зафиксированы максимумы поверхностно-плазмонного резонанса в области длин волн  $\lambda \sim 412 - 431$  нм у коллоидных растворов наночастиц серебра, что подтверждает образование стабильного коллоидного раствора, содержащего сферические наночастицы серебра.

В работе для придания антимикробных свойств проводилась модификация эндопротеза НЧ Ag двумя способами: 1. Вначале проводилась обработка эндопротеза коллоидным раствором НЧ Ag; затем материал покрывался 0,5% раствором коллагена. 2. Предварительно выполнялась обработка эндопротеза 0,5% раствором коллагена, затем наносился слой коллоидного раствора с НЧ Ag.

Полученные СЭМ изображения НЧ серебра свидетельствуют о наличии модификации материалов двумя способами. Наночастицы имеют преимущественно сферическую форму со средним размером от 24 до 35 нм.

Проведенные способы модификации позволили достичь хорошей адгезии наночастиц серебра к поверхности полипропиленового хирургического эндопротеза, также обозначить предполагаемый механизм фиксации частиц. Метод основан на локализованном восстановлении, что обеспечивает прочную фиксацию НЧ Ag и выраженные антимикробные свойства без нарушения механических характеристик полипропиленовой основы. Проведенные микробиологические исследования показывают терапевтическую эффективность в отношении бактерий [2] и грибов. Предложены технологические способы формирования покрытия, содержащего наночастицы серебра на хирургических сетках. Полученные результаты позволяют обосновать правильный выбор эндопротезов в клинической ситуации.

### Список литературы

1. Шрайнер А.А., Цобкалло Е.С., Агапов М.А., Какоткин В.В., Москалюк О.А. Плетеные хирургические сетчатые эндопротезы, представленные на российском рынке. Обзор // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2024. Т. 67. № 3. С. 42-53.
2. Смирнова М.П., Кудрявцева Е.В., Буринская А.А., Шарапова А.А., Москалюк О.А., Бабич О.О. Получение коллоидных растворов наночастиц серебра с использованием биологически-активных веществ // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2024. № 2. С. 169–174.

### В. И. Вагнер, М. А. Егорова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Математическое моделирование релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов, по которому можно прогнозировать их релаксационно-восстановительные свойства в динамике, целесообразно осуществлять на основе определяющего интегрального уравнения Больцмана-Вольтерра с различными интегральными ядрами [1].

$$\sigma_t = E_o \varepsilon_t - (E_o - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \varphi'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta, \quad (1)$$

где  $t$  - время,  $\sigma_t$  - напряжение,  $\varepsilon_t$  - деформация,  $E_\infty$  - модуль вязкоупругости,  $E_o$  - модуль упругости,  $\varphi'_{\varepsilon; t}$  - ядро релаксации.

В качестве подынтегрального ядра  $\varphi'_{\varepsilon; t}$  целесообразно выбрать производную одной из следующих интегральных функций вероятностных распределений [2]:

$$\varphi_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{a_n^{-1} \cdot \ln(t/\tau)} e^{-z^2/2} dz - \quad (2)$$

ИВ (интеграл вероятностей, характеризующий нормальное распределение);

$$\varphi_t = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{th} \left( \frac{A}{2} \ln \frac{t}{\tau} \right) \right) = \left( 1 + \left( \frac{t}{\tau} \right)^{-A} \right)^{-1} - \quad (3)$$

ГТ (гиперболический тангенс);

$$\varphi_t = 1 - e^{-(t/\tau)^k} - \quad (4)$$

ФК (функция Кольрауша, не обладающую центрально-симметричным графиком, в отличие от ИВ и ГТ, но имеющую относительно простой вид);

$$\phi_t = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{b_n} \ln \frac{t}{t_1} \right) - \quad (5)$$

НАЛ (нормированный арктангенс логарифма, характеризующий вероятностное распределение Коши).

Здесь  $a_n$ ,  $A$ ,  $k$ ,  $b_n$  – параметры интенсивности процесса релаксации, характеризующие скорость указанного процесса,  $t/\tau$  – приведенное время.

Наличие нескольких математических моделей, в которых применяются разные подынтегральные функции, оправдано и позволяет получать результаты релаксационно-восстановительных прогнозов, независимые друг от друга [3].

Прогнозируемые релаксационно-восстановительные характеристики, полученные усреднением характеристик, определенных с использованием разных математических моделей, обладают более высокой степенью достоверности, чем характеристики, определенные с использованием одной математической модели [4].

Применение метода компьютерного прогнозирования релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения не исключает возможность параллельного расчета релаксационных и восстановительных процессов для нескольких различных математических моделей релаксационных свойств исследуемых материалов, что повышает точность рассматриваемого прогнозирования [5].

Предложенный метод компьютерного прогнозирования релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения носит универсальный характер и опробован на различных полимерных материалах [6].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### Список литературы

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна.

Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.

4. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.

5. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.

6. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.

**Л. Н. Ахметзянова, О. И. Гладунова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПОЛЫЕ МИКРОСФЕРЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Большой интерес, при создании композиционных материалов (КМ) конструкционного назначения, к полым микросферам (ПМС) обусловлен их свойствами. Особенности ПМС являются низкая плотность ( $0,1 - 0,25 \text{ г/см}^3$ ), обеспечивающая легкость наполнителя; низкая теплопроводность и правильная сферическая форма, благодаря которой достигается эффективная степень заполнения и высокие прочностные показатели, особенно на сжатие. Их применение в качестве мелкодисперсного наполнителя позволяет значительно уменьшить вес конечного изделия и создавать КМ с уникальными свойствами, которые не удастся получить с использованием других дисперсных наполнителей.

Полые стеклосферы широко используются в качестве наполнителя и модификатора при производстве лакокрасочных материалов, обеспечивая улучшение физико-механических свойств покрытий за счет их способности рассеивать свет в различных средах из-за разницы в показателях преломления воздушного пузырька микросферы и среды, в которой они распределены [1].

Благодаря своей хорошей теплоизолирующей способности ПМС могут применяться для получения термостойких теплоизолирующих материалов с рабочими температурами выше  $1000^\circ\text{C}$  и создания на их основе огнезащитных материалов. Для этих целей используют зольные и корундовые ПМС [2].

В настоящее время разработаны подходы для модификации ПМС, позволяющие получать материалы с улучшенными функциональными свойствами: прочные, ультралегкие, углеродные, металлизированные. Также продолжаются исследования по получению углеродных микросфер посредством карбонизации фенолформальдегидных микросфер. Такие микросферы приобретают электропроводность и сохраняют свои свойства при температурах до  $2000^\circ\text{C}$  (в инертной среде), что позволяет использовать их в технике, работающей при высоких температурах. Кроме этого, углеродные

микросферы могут применяться для изготовления высокопористых низкоплотных композиционных углеродных материалов для авиации и космоса [3].

#### **Список литературы**

1. Бобкова Н.М., Трусова Е.Е., Савчин В.В., Сабадаха Е.Н., Павлюкевич Ю.Г. Получение полых стеклянных микросфер и их применение в производстве водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Стекло и керамика. 2019. № 11. С. 3-7.
2. Аристова Е.Ю., Денисова В.А., Дрожжин В.С. [и др.] Композиционные материалы с использованием полых микросфер // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 1 (50). С. 52-57.
3. Апанасевич Н.С., Сокол А.А., Кудлаш А.Н. [и др.] Термостойкие теплоизолирующие композиционные материалы на основе полых микросфер и твердых фосфатных связующих: разработка и исследование // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. 2022. № 2. С. 70–82.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ИСКУССТВЕННАЯ ПОЧВА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА С ДОБАВЛЕНИЕМ ГЛУТАРОВОГО АЛЬДЕГИДА**

Пористые композиционные материалы на основе поливинилового спирта (ПВС) представляют интерес для создания искусственных субстратов, способных удерживать влагу и обеспечивать рост растений в экстремальных условиях — на территориях с ограниченным плодородным слоем, в закрытых экосистемах, на полярных и космических станциях. Применение таких искусственных почв обеспечивает возможность автономного земледелия при минимальных ресурсах.

В качестве основы использовали водный раствор ПВС. Для сшивки и формирования структуры композита применяли формальдегид ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Реакцию проводили в кислой среде. Пористая структура формировалась за счет введения поверхностно-активных веществ и физического газообразователя.

Также в рамках исследования изучена возможность полной или частичной замены небезопасного и токсичного для человека сшивающего агента формалина менее опасным глутаровым альдегидом (ГА) и исследование влияния введения ГА в качестве второго сшивающего агента на процесс структурообразования получаемых образцов.

Для этого получили серию образцов на основе 12 % водного раствора ПВС, количество формалина варьировалось от 5 до 30 %, количество глутарового альдегида 0,5 и 1% для каждой концентрации формалина и в качестве контрольных образцов — материалы без ГА.

Для контрольной серии сшивка происходит при введении формалина начиная с 20 % и выше, при содержании от 5 до 10 % не наблюдается структурообразования, при 15 % образуется гелеобразная, не держащая форму масса. При введении уже 0,5 % ГА наблюдалось улучшение сшивки по сравнению с контрольной серией. При концентрации формалина 5 % образуется гелеобразный материал, а при концентрации формалина от 15 % и выше формостабильный композит. Добавление 1 % ГА позволило получить сшитый материал при концентрации формалина 10 % и выше.

Анализ полученных данных показывает, что добавление глутарового альдегида способствует более эффективной сшивке полимерной матрицы при низких

концентрациях формальдегида, что приводит к формированию формостабильного твердого композита, пригодного для дальнейшего использования в качестве основы искусственной почвы.

**Ю. Ю. Вилачева, О. В. Асташкина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ (ОБЗОР)**

Начиная с середины прошлого столетия активно развиваются технологии производства и применения новых композитных материалов во многих наукоемких сферах, в том числе в авиастроении, имеющих определенные постоянные величины диэлектрической проницаемости в широком диапазоне частот электромагнитного излучения, одновременно с этим обладающих высокими физико-механическими свойствами и атмосферостойкостью [1]. На борту всех летательных аппаратов расположены приемопередающие антенные механизмы и системы, которые необходимо защищать от внешних воздействий. Для этих целей применяются радиопрозрачные материалы, в частности, обтекатели антенн.

Радиопрозрачность — способность материала пропускать радиоволны с минимальным коэффициентом поглощения и отражения. Радиопрозрачность характеризуется двумя основными параметрами: тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ) — показатель энергетических потерь в материале; диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ) — чем ниже  $\epsilon$ , тем меньше материал искажает электромагнитное поле. Основные требования к радиопрозрачным материалам следующие: водопоглощение 0,00 – 0,01 %, прочность при изгибе не менее 120 МПа, модуль упругости от  $5,3 \cdot 10^4$  МПа, диэлектрическая проницаемость близкая к 1 при частоте 1 ГГц, тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  0,0001-0,0100 при частоте 1 ГГц.

До 1970-х годов радиопрозрачные обтекатели изготавливались в основном из стеклопластиков, содержащих в качестве матрицы эпоксидную смолу. Однако в настоящее время с увеличением рабочих частот до 45 ГГц стеклопластики показали свою недостаточную эффективность вследствие резкого снижения диэлектрических и механических характеристик при эксплуатации [2]. Одно из перспективных направлений в производстве радиопрозрачных материалов – получение синтактных пенопластов и композитов с эпоксидным связующим, наполнителями которых являются полые и заполненные сферические частицы, равномерно распределенные в полимерной матрице. Главное преимущество синтактных КМ – возможность получения изделий с минимальными ресурсо- и трудозатратами. Одновременно с этим, синтактные материалы обладают высокими прочностными и диэлектрическими показателями, стабильными при эксплуатации. Изделия из таких материалов перспективны для летательных аппаратов с длительным сроком эксплуатации, так как уменьшается масса изделия и повышаются радиотехнические характеристики.

В настоящее время проведен анализ основных технологий получения радиозащитных материалов в виде композиционных материалов и подтверждена актуальность разработок в данной области технологий композиционных материалов.

## Список литературы

1. Волков А.В., Крюков А.В., Цветков К.А. Проектирование радиопрозрачных обтекателей для средств радиоэлектронной борьбы из композиционных материалов на основе стекловолокна // Радиотехника. 2022. Т. 86. № 10. С. 72-78.
2. Уварова Н.Е., Гращенков Д.В., Исаева Н.В. [и др.] Высокотемпературные радиопрозрачные материалы: сегодня и завтра // Авиационные материалы и технологии. 2010. № 1(14). С. 16-21.

## И. М. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## ПРОВЕДЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЯЗКОУПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вязкоупруго-пластические свойства полимерных текстильных материалов определяются двумя основополагающими типами процессов: релаксационным (процесс релаксации напряжений) и деформационным (процесс ползучести) [1].

В основе математического моделирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов лежит аппроксимация обобщенной кривой модуля релаксации  $E_{\varepsilon t}$  нормированной функцией  $\varphi_{\varepsilon t}$  на основе гиперболического тангенса [2]:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_{\infty})\varphi_{\varepsilon t}, \quad (1)$$

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} \left( 1 + th \left( \frac{A_{\varepsilon}}{2} \ln \frac{t}{\tau_{\varepsilon}} \right) \right), \quad (2)$$

здесь:  $E_0$  - модуль упругости;  $E_{\infty}$  - асимптотический модуль вязкоупругости;  $A_{\varepsilon}$  - структурно-релаксационный параметр интенсивности;  $\tau_{\varepsilon}$  - релаксационное время, определяющее половину релаксационного процесса при деформации  $\varepsilon$ ).

Аналогично, в основе математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов лежит аппроксимация обобщенной кривой податливости  $D_{\sigma t}$  нормированной функцией  $\varphi_{\sigma t}$  на основе гиперболического тангенса [3]:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0)\varphi_{\sigma t}, \quad (3)$$

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} \left( 1 + th \left( \frac{A_{\sigma}}{2} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} \right) \right), \quad (4)$$

здесь:  $D_0$  - начальная упругая податливость;  $D_{\infty}$  - асимптотическая равновесная податливость;  $A_{\sigma}$  - структурно-деформационный параметр интенсивности;  $\tau_{\sigma}$  - деформационное время, определяющее половину деформационного процесса при напряжении  $\sigma$ ).

Выбор в качестве основы для математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов нормированной функции гиперболический тангенс не случаен, т.к. эта функция, во-первых, является

элементарной, что упрощает аналитические преобразования с ней, а во-вторых, ее график достаточно близок к графику интегральной плотности нормального распределения [4].

Проверку адекватности разработанных математических моделей релаксационных и деформационных процессов можно осуществить путем контрольной проверки расчетных значений модуля релаксации и податливости с данными краткосрочного эксперимента [5].

Проведенные исследования показали, что относительные отклонения расчетных значений модуля релаксации и податливости от экспериментальных значений не превысили величины 8 %, что является хорошим показателем для технических расчетов при решении задач такого уровня [6].

Еще одним достоинством разработанных математических моделей релаксационных (1), (2) и деформационных (3), (4) процессов является содержание наименьшего числа параметров с физическим смыслом [7]:

-  $E_0$ ,  $E_\infty$  - асимптотические модули релаксации:

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\epsilon t}, \quad E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\epsilon t}; \quad (5)$$

-  $D_0$ ,  $D_\infty$  - асимптотические податливости:

$$D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} D_{\sigma t}, \quad D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{\sigma t}; \quad (6)$$

- структурно-релаксационный параметр  $A_\epsilon$  задает интенсивность релаксации (половина релаксационного процесса проходит за время  $t \in [t', t'']$ , где  $\ln(t'/\tau_\epsilon) = -A_\epsilon$ ,  $\ln(t''/\tau_\epsilon) = A_\epsilon$ );

- структурно-деформационный параметр  $A_\sigma$  задает интенсивность деформирования (половина деформационного процесса проходит за время  $t \in [t', t'']$ , где  $\ln(t'/\tau_\sigma) = -A_\sigma$ ,  $\ln(t''/\tau_\sigma) = A_\sigma$ );

- деформационная функция временных сдвигов  $f_{\sigma, \sigma} = \ln(t_1/\tau_\sigma)$  (характеризующая сдвиги деформационных кривых до слияния с обобщенной деформационной кривой), содержащаяся в деформационном аргументе-функционале

$$W_{\sigma t} = \frac{A_\sigma}{2} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} = \frac{A_\sigma}{2} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_\sigma} \right) \right); \quad (7)$$

- релаксационная функция временных сдвигов  $f_{\epsilon, \epsilon} = \ln(t_1/\tau_\epsilon)$  (характеризующая сдвиги релаксационных кривых до слияния с обобщенной релаксационной кривой), содержащаяся в релаксационном аргументе-функционале

$$W_{\epsilon t} = \frac{A_\epsilon}{2} \ln \frac{t}{\tau_\epsilon} = \frac{A_\epsilon}{2} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_\epsilon} \right) \right). \quad (8)$$

Таким образом, показано, что применение нормированной функции гиперболический тангенс в качестве основы для математической модели релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов, позволяет с достаточной точности моделировать эксплуатационные свойства указанных материалов [8].

Аналитический вид функции гиперболический тангенс и принадлежность к классу элементарных функций существенно упрощает аналитические преобразования и облегчает нахождение релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных параметров-характеристик [9].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В., Загородников С.В., Назаров А.В., Дембицкий С.Г., Кирсанова Е.А., Коган А.Г., Левакова Н.М., Мурадян В.Е. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В. Разработка методов повышения качества продукции легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в процесс ее проектирования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2018. № 1. С. 85-95.
3. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.
4. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.
5. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.
6. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.
7. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.
8. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
9. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Козлов А.А., Шванкин А.М. Компьютерное прогнозирование и качественный анализ полимерных парашютных строп // Химические волокна. 2018. № 3. С. 94-97.

## **ОЦЕНКА СМАЧИВАМОСТИ СВМПЭ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «СИДЯЧЕЙ» КАПЛИ**

Благодаря уникальному набору свойств, материалы на основе сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых (СВМПЭ) волокон широко используются во многих отраслях промышленности.

Однако СВМПЭ волокна не лишены недостатков. Низкая поверхностная энергия и отсутствие ненасыщенных химических связей у СВМПЭ волокон являются основными причинами их слабой адгезии практически ко всем термореактивным матрицам. Поэтому приоритетной задачей является разработка метода модификации поверхности волокна для наилучшего адгезионного взаимодействия соединения «волокно – матрица».

Ранее нами были проведены работы по модификации поверхности СВМПЭ волокон с помощью ультрафиолетового (УФ) излучения, в ходе которой выявили продолжительность УФ обработки, при которой достигается наилучшая смачиваемость волокон полимерным связующим (ПС) [1].

Для оценки смачиваемости исходных и модифицированных СВМПЭ волокон использовали методику, описанную в патенте RU 2 100 797 C1 «Экспресс-метод оценки смачивающей способности волокнистых частиц» [2].

На основе анализа фотографий исходных образцов было установлено, что капли на волокне имеют сферообразные формы различного размера (0,05 - 0,3 мм). Растекание капель по исходным СВМПЭ волокнам было не выявлено, а краевой угол смачивания равен  $80^\circ$ , т. е. является острым, что свидетельствует о неполном смачивании поверхности СВМПЭ волокон ПС. Однако, угол смачивания является достаточно большим. Такое значение угла смачивания объясняется значительным поверхностным натяжением эпоксидного связующего (ЭС) и близостью его значения к средней поверхностной энергии СВМПЭ волокна ( $45 \text{ мДж/м}^2$  и  $35 \text{ мДж/м}^2$  соответственно). Данная величина показывает, что пропитка СВМПЭ волокон ЭС в обычных условиях может иметь ограниченный характер.

На модифицированных УФ обработкой образцах СВМПЭ волокон, мы наблюдали капли, которые быстро растекались по волокну и образовывали однородный слой. Краевой угол смачивания для модифицированных СВМПЭ волокон равен  $33^\circ$ , т. е. является в 2,3 раза более острым, чем в исходных образцах. Снижение величины краевого угла смачивания свидетельствует о лучшем растекании капель ПС по СВМПЭ волокнам и определяет большую степень пропитки волокнистого наполнителя.

### **Список литературы**

1. Воронина Н.А., Гладунова О.И. Модификация СВМПЭ волокон с целью улучшения адгезионных свойств // Композитный мир. 2025. № 2 (111). С. 42-43.
2. Патент RU 2 100 797 C1. Солодов Г.А., Рыжков Ю.И., Лучин А.В. Экспресс-метод оценки смачивающей способности волокнистых частиц; заявл. 02.27.1996; опубл. 12.27.1997.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОРЕЗИНЕННЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Прорезиненные ткани представляют собой текстильную основу, покрытую или пропитанную слоем резины или резиноподобных полимеров для придания водонепроницаемости, прочности и устойчивости к агрессивным средам. Такие материалы широко применяются при производстве костюмов индивидуальной защиты кожи в химической и других отраслях промышленности. Поскольку данные материалы являются многосоставными, переработка их затруднена, а утилизация производится захоронением на специальных полигонах, что связано со значительными затратами для предприятий и экологическим ущербом для окружающей среды.

Авторами разработаны экспериментальные образцы вторичного композиционного материала на основе измельченных отходов прорезиненной ткани и полимерного связующего [1-2]. Измельченную крошку получали путем дробления в роторной ножевой дробилке с использованием двух решеток с размером отверстий 2 и 5 мм. Часть образцов формировали на подложке в виде нетканого полотна спанбонд, поверхностной плотностью 30 г/м<sup>2</sup>. Установлено, что прочностные показатели и толщина полученного материала напрямую зависят от характеристик использованной подложки, которая выступает в роли армирующего каркаса, значительно увеличивая прочность материала. Так, без подложки разрывная нагрузка составляет от 107 до 180 Н, с подложкой, обладающей разрывной нагрузкой 30 Н – от 150 Н до 260 Н в зависимости от размеров крошки, количества связующего и других факторов. После замачивания в пресной и солёной воде образцы не набухают, сохраняют первоначальные размеры, прочность и внешний вид. Испытания стандартным абразивом с зерном 20 показали, что скорость потери толщины при истирании зависит от размера крошки в составе и составляет более 10 тыс.циклов/мм.

Получение вторичных материалов является перспективным направлением утилизации отходов прорезиненных тканей. Созданные композиционные материалы могут найти применение в качестве покрытий с противоскользящими и амортизирующими свойствами.

### **Список литературы**

1. Азанова А.А., Гаврилюк Е.Ю., Мустафина Р.Р., Сухова А.А. К вопросу переработки отходов текстильно-полимерных материалов // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024): Материалы докладов международной научно-технической конференции. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2025. С. 109-114. EDN SSNVKL.
2. Гаврилюк Е.Ю., Азанова А.А., Мустафина Р.Р., Сухова А.А. Полимерно-волоконистые композиты на основе отходов прорезиненных тканей // Новые полимерные композиционные материалы: Материалы XX международной научно-практической конференции. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2024. С. 86. EDN AOUIDP.

## **РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ И РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Полимерные материалы являются эффективной основой для создания как радиопоглощающих, так и радиопрозрачных композиционных материалов. Их свойства можно регулировать, подбирая тип полимерной матрицы и состав наполнителей.

Радиопрозрачные материалы характеризуются низким ослаблением электромагнитных волн и применяются там, где необходимо обеспечить прохождение сигнала. Основная область их использования — изготовление обтекателей антенн летательных аппаратов, которые защищают радиотехнические системы от внешних воздействий, не искажая сигнал. Радиопоглощающие материалы (РПМ) и покрытия, напротив, предназначены для поглощения энергии электромагнитного излучения (ЭМИ). Они являются важным компонентом «стелс-технологий», а также используются для создания безэховых камер и защиты персонала от ЭМИ [1].

Для придания полимерам радиопоглощающих свойств в них вводят электропроводящие или магнитные наполнители. Механизм поглощения основан на переводе энергии электромагнитного поля в тепловую за счет резистивных и магнитных потерь. Углеродные наполнители являются одними из самых распространенных. Исследования показывают эффективность применения углеродных волокон, многостенных углеродных нанотрубок в количестве 0.003–0.005 об.% и таких материалов, как шунгит и Таунит-М. Магнитные наполнители, такие как ферриты и карбонильное железо, вводятся в значительных количествах (5–50 об.%) и обеспечивают поглощение за счет магнитных потерь [2].

Задача наполнителей для радиопрозрачных композитов — сохранить малую диэлектрическую проницаемость и низкие тангенсы потерь всего композита, часто в сочетании с повышением термостойкости. Высокотермостойкие радиопрозрачные стеклопластики могут изготавливаться на основе кварцевых волокон и неорганических связующих, таких как водные растворы алюмохромфосфатов или кремнезоля. Такие материалы сохраняют стабильность при высоких температурах. Для эксплуатации в экстремальных условиях перспективны композиты с высокотемпературными оксидными керамическими матрицами. Для управления диэлектрическими свойствами и плотностью материала могут использоваться стеклянные микросферы [3].

### **Список литературы**

1. Краев И.Д., Шулдешов Е.М., Платонов М.М., Юрков Г.Ю. Обзор композиционных материалов, сочетающих звукозащитные и радиозащитные свойства // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. № 4 (45). С. 60-67.
2. Банный В.А., Царенко И.В. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена // *Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно - практический журнал*. 2009. № 4. С. 3-8.
3. Патент РФ №2610048. МПК C04B 35/80. Высокотермостойкий радиопрозрачный неорганический стеклопластик и способ его получения.

## **ДЕФОРМАЦИОННО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Перед текстильной промышленностью, занимающейся производством материалов и изделий различного бытового и технического назначения, все чаще встают задачи комплексного развития производства на базе современных методов исследования свойств материалов с использованием передовых информационных технологий [1].

Ускорение научно-технического прогресса и повышение конкурентоспособности продукции текстильной промышленности способствуют разработке новых перспективных инновационных технологий научных исследований в области изучения и прогнозирования деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов [2].

Разрабатываемые инновационные методы исследований деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной промышленности предлагается осуществлять на основе математического моделирования, системного комплексного анализа указанных свойств, информационных технологий и вычислительных компьютерных методов [3].

Метод определения функционально-потребительских деформационно-эксплуатационных характеристик полимерных текстильных материалов основан на численной обработке экспериментального "семейства" ползучести указанных материалов, полученного для постоянных значений напряжения на приборе "релаксометр деформаций" [4].

Характеристика среднего времени запаздывания получается, как параметр временного сдвига кривой ползучести, полученной для значения напряжения, до совмещения с обобщенной кривой ползучести [5].

Полученные методом математического моделирования функционально-потребительских деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов характеристики ползучести указанных материалов наряду с характеристиками релаксации предлагается использовать в дальнейшем для оценки их качества [6].

Заметим по аналогии с релаксацией, что указанные характеристики ползучести, полученные на основе математического моделирования с использованием функции нормированный арктангенс логарифма приведенного времени, подчиняются вероятностному распределению Коши, что особо актуально для материалов, представляющих из себя сложную (составную) макроскопическую структуру [7].

По рассчитанным параметрам функционально-потребительских деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности: начальной упругой податливости, предельно-равновесной податливости, интенсивности деформационного процесса и среднему деформационному времени можно дать первичную оценку функционально-потребительских деформационно-эксплуатационных свойств исследуемых материалов [8].

В результате применения математической модели и метод определения деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной промышленности опробованы на репрезентативной группе текстильных материалов, для которых были получены прогнозируемые значения деформационно-эксплуатационных параметров-

характеристик, имеющих определяющее значение при проведении сравнительного анализа и качественного отбора материалов, обладающих определенными свойствами [9].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 28-30.
2. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.
3. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Титова Л.В. Математическое моделирование вязкоупругих свойств швейных армированных полиэфирных нитей // Химические волокна. 2021. № 4. С. 3-7.
4. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.
5. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.
6. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4(382). С. 229-234.
7. Демидов А.В., Гребёнкин А.Н., Иванов К.Г., Переборова Н.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, применяемых в швейной, обувной и текстильной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2011. № 5(20). С. 19-21.
8. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости текстильных материалов // Текстильная промышленность. 2006. № 1-2. С. 55-57.
9. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности // Текстильная промышленность. 2006. № 8. С. 14-16.

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ**

Полипропилен (ПП) является одним из самых популярных полимеров. Его используют в производстве самых разнообразных изделий: от канализационных труб и чемоданов до медицинских масок и термобелья. Пленки из ПП применяются в качестве упаковочного материала в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве и торговле. С одной стороны, упаковочные материалы должны быть легкими и обладать высокими физико-механическими характеристиками для обеспечения сохранности упакованной продукции при транспортировке. С другой стороны, для упаковки важна способность поглощать/выводить излишнюю влагу. Высокая гидрофобность упаковочного материала может привести к микробиологической порче, изменению структуры и потере органолептических свойств веществ при хранении. В части физико-механических свойств и легкости ориентированная ПП пленка отвечает всем требованиям, поскольку характеризуется высоким пределом прочности при растяжении (100-120 МПа) и плотностью 0,91 г/см<sup>3</sup>. Однако ПП обладает нулевым влагопоглощением.

Ранее нами были проведены исследования, которые показали, что тепловая обработка ПП пленки водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ) приводит к увеличению характеристической энергии сорбции паров воды в 4 (для катионного ПАВ (КПАВ)) и 7 (для амфотерного ПАВ (АмПАВ)) раз. Поэтому цель настоящей работы состояла в анализе влияния модификации водными растворами ПАВ разной ионной природы ПП пленки на изменение деформационно-прочностных свойств при ее растяжении.

Для исследования были выбраны двуосноориентированная ПП пленка и ПАВ: цетримония бромид (КПАВ-1), додецилтриметиламмония бромид (КПАВ-2), лаурилсульфат натрия (АПАВ-1), альфаолефин сульфат натрия (анионный ПАВ (АПАВ-2)), лаурамидопропилбетаин (АмПАВ). Модификацию ПП пленки проводили водными растворами ПАВ концентрацией 1 г/л при температуре  $\pm 99$  °С в течение 60 мин. Одну часть образцов промывали водой для удаления ПАВ, а другую – нет. Испытания физико-механических свойств проводили на приборе «Instron-1122».

Для необработанной ПП пленки средние значения разрывного напряжения и деформации составили 103 МПа и 9,7 %. В основном, обработка ПП пленки водными растворами ПАВ без последующей стадии промывки приводит к существенному уменьшению прочности (на 22-63 %) и увеличению удлинения. Наименьшие изменения деформационно-прочностных свойств наблюдаются для образцов, обработанных КПАВ-2 (102 МПа, 11 %). Повышение прочности наблюдается в случае обработки ПП пленки водными растворами ПАВ с последующей промывкой. Наибольшие изменения разрывных характеристик оказывает модификация в присутствии КПАВ-1 с последующей стадией промывки: разрывное напряжение увеличивается в 1,6 раза (176 МПа), удлинение – в 2 раза (20 %).

Таким образом, для модификации ПП пленки, предназначенной для применения в качестве упаковочного материала, рекомендуется использовать бромид гексадецилтриметиламмония и способ модификации, предусматривающий удаление ПАВ после обработки.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ**

Для производства меха – высокомолекулярного материала природного происхождения высокого качества требуется применение специальных химических реагентов, повышающих комплекс характеристик материала. Такими соединениями являются полимеры. Наиболее распространенными полимерными соединениями в меховом производстве являются акриловые полимеры. Однако, применение полимеров затруднено их ограниченной диффузией внутрь кожаной ткани и, соответственно, не обеспечивается их равномерное распределение в объеме кожаной ткани. В работе установлено, что акриловые эмульсии характеризуются широким распределением размеров частиц: 78,7-458,7 нм и 58,77-825 нм. Для регулирования характеристик полимеров известно применение плазменных методов модификации [1, 2].

В работе проведено исследование влияния высокочастотных емкостного и индукционного разрядов на размер и однородность распределения частиц акриловых наполнителей. Характеристики полимерных наполнителей исследованы методом динамического светорассеяния. Определены размер частиц полимерных наполнителей, индекс полидисперсности и средний размер частиц.

Установлено, что модификация акриловой эмульсии в ВЧ-емкостном разряде пониженного давления при мощности разряда 700 Вт, продолжительности модификации 10 минут, давлении в вакуумной камере 55 Па и расходе плазмообразующего газа 0,04 г/с позволяет повысить однородность распределения частиц за счет плазменно-инициированной полимеризации, протекающей по радикальному механизму. Так же в качестве плазмообразующих газов исследованы атмосферный воздух и смесь пропана и бутана. Установлено, что оптимальным плазмообразующим газом является аргон.

Проведена модификация акриловых эмульсий в ВЧ-индукционном разряде пониженного давления при следующих параметрах: мощность разряда 0,1 кВт, продолжительность модификации 20 минут, давление в вакуумной камере 5 кПа. Установлено, что в случае модификации в ВЧ-индукционном разряде происходит дробление частиц акриловых эмульсий за счет последовательной полимеризации и отрыва атома водорода от полимерных цепей под действием ионов и электронов плазмы, а также воздействия ультрафиолетового излучения.

Модифицированные в высокочастотных разрядах пониженного давления испытаны как наполняющие реагенты капиллярно-пористого материала – меховой овчины. Установлено, что модификация в ВЧ-индукционном разряде акриловых эмульсий позволяет интенсифицировать их диффузию и повысить однородность распределения в объеме кожаной ткани. По результатам физико-механических испытаний можно сделать вывод что акриловые эмульсии проявляют умеренную структурирующую способность, проявляя преимущественно жирующую способность.

### **Список литературы**

1. Srinivasa K.N., Rama K.A., Behrouz M. et al. Surface modification of polymers: methods and applications // Advanced Materials Interfaces. 2018. Vol. 5. № 24. P. 1801247.

2. Смирнов С.А., Титов В.А., Рыбкин В.В. Влияние внешних факторов на параметры низкотемпературной плазмы при обработке в ней полимерных материалов // Российский химический журнал. 2013. Т. 57. № 3-4. С. 52-59.

**А. А. Копотилова, О. А. Молоканова, Е. С. Цобкалло**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН, НАПОЛНЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ**

В настоящее время наблюдается растущий спрос на легкие и долговечные электропроводящие материалы в умных тканях и гибкой электронике. Перспективным направлением является разработка полимерных композиционных электропроводящих нитей. Это позволит расширить функционал изделий и снизить их вес.

Материалы для гибкой электроники должны обладать определенными заданными характеристиками электропроводности, что часто достигается путем многочисленных экспериментов. С помощью математического моделирования возможно сократить количество натурных экспериментов и спрогнозировать характеристики будущего композита. Одним из наиболее удобных инструментов для этого является обученная на данных нейронная сеть.

Целью работы является прогнозирование электропроводящих свойств композитного волокна. В данной работе композиционный материал имел вид ориентированных волокон, полученных на основе полипропиленовой (ПП) матрицы методом экструзии из расплава. В качестве наполнителя использовались многостенные углеродные нанотрубки и технический углерод.

На основе экспериментальных данных были выбраны входные параметры для моделирования. ПП матрица является аморфно-кристаллическим полимером. С увеличением степени кристалличности снижается значение удельного электрического сопротивления композита. В процессе экспериментов было выявлено, что повышение степени ориентационной вытяжки приводит к обратному эффекту. Для углеродного наполнителя важными входными параметрами являются: логарифм удельного объемного сопротивления, насыпная плотность и размеры (диаметр, длина).

В качестве выходного параметра, на основе экспериментальных данных, был выбран логарифм удельного объемного сопротивления ( $\lg\rho_k$ ). Его зависимость от концентрации углеродного наполнителя имеет перколяционный характер. В данной работе необходимо было определить значение электрического сопротивления, относящееся к участку насыщения. В этом диапазоне свойства композиционного материала в наибольшей степени зависят от определённых нами входных параметров.

На основе выявленных зависимостей был сгенерирован массив экспериментальных данных. Для каждого входного параметра было определено 100 значений. С помощью аналитической платформы Loginom / Deductor построены прогнозирующие нейронные сети прямого распространения, состоящие из входного, среднего и выходного слоя.

В результате работы была построена аналитическая модель для прогнозирования удельного объемного электрического сопротивления композиционного волокна. Для

получения численного значения сопротивления необходимо ввести значения входных параметров в модуль прогнозирования. Такая модель будет удобна для изготовления материалов с заданными свойствами.

**А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина, О. И. Яковлева**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **УМНАЯ ОДЕЖДА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Комплексная медицинская проблема лечения ран и ожогов, уход за повреждениями кожи и слизистой, косметологического ухода за кожей решается с использованием, кроме всего прочего, специальных повязок, масок и предметов одежды, несущих на себе то или иное лекарственное средство. Используемые материалы можно подразделять по целевому назначению (медицина, спорт, косметология), форме и структуре (ткани, нетканые материалы, пленки), составу используемых лекарств. Свойства материалов таких изделий, в идеальном случае, должен по составу приближаться к свойствам кожи человека, из известных материалов таким требованиям лучше всего отвечает натуральный шелк. При этом часто возникает необходимость длительного, пролонгированного выделения лекарственного препарата или терапевтического биоактивного вещества при контакте с кожей или слизистой поверхностью. Этот эффект может быть достигнут за счет микрокапсулирования наносимых на поверхность текстильного или пленочного материала лекарственных или биоактивных веществ (витамины, пробиотики, противосудорожные и антибактериальные препараты, ферменты, антибиотики и др.) в полупроницаемую оболочку, способную при создании определенных условий среды (влажности, pH, температуры) дозированно выделять заключенное в оболочку вещество. Регулировать скорость выделения можно за счет создания в оболочке пор определенного размера, которые обеспечат при заданных условиях диффузию активного вещества из ядра капсулы наружу (на поверхность материала, контактируемого с кожей или слизистой оболочкой) [1, 2]. Данный метод высвобождения активного вещества из капсулы имеет ряд преимуществ, в том числе повышение комфорта для пациентов и локализация лекарственного средства. Благодаря этому микрокапсулы с лекарственным веществом внутри имеют высокую эффективность, обычно небольшую себестоимость и простоту в использовании, дают возможность адаптации к различным задачам, универсальны в применениях. Немаловажно, что микрокапсулирование позволяет защитить активное вещество капсулы от воздействия окружающей среды (окисление, кислая и щелочная среда, высокие температуры, повышенная влажность).

Исследование посвящено разработке технологии получения медицинской одежды с микрокапсулированными в полиэлектролитную оболочку лекарственными веществами. В качестве природных полиэлектролитов использованы фиброин шелковых волокон окультуренного шелкопряда *Bombyx mori* и хитозан краба низкомолекулярных от Aldrich. Их растворяли в соответствующих растворителях, добавляли глутаровый альдегид в качестве сшивающего агента и водорастворимый витамин С. При добавлении жидкого парафина и поверхностно-активного вещества смесь эмульгировали, Полученные капсулы промывали, фильтровали и сушили. Использование микрокапсул в отделке текстильного материала обеспечивает пролонгированное высвобождение

активного вещества в зависимости от pH и влажности. В условиях влажной среды полиэлектролитная оболочка набухает, в результате чего увеличивается размер пор и содержимое капсулы постепенно высвобождается. Изучена кинетика высвобождения активного вещества на поверхность текстильного материала. Показано, что, наряду с условиями эксплуатации материала, скорость высвобождения регулируется составом полиэлектролитной оболочки. Материалы перспективны для создания нового ассортимента умного текстиля.

#### **Список литературы**

1. Патент РФ 2270209. Способ получения пористого материала из смеси фиброина и хитозана. Оpubл. 29.06.2017. БИ № 14.
2. Сашина Е.С., Новоселов Н.П. Полиэлектролитные комплексы фиброина с хитозаном // Журнал прикладной химии. 2005. Т. 78. № 3. С. 493-498.

#### **А. А. Козлов**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время широко применяются методы математического моделирования и компьютерного прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов, протекающих при постоянной температуре [1].

Однако такие условия встречаются достаточно редко при эксплуатации изделий, изготовленных из полимерных текстильных материалов, поэтому исследователей интересуют вопросы учета переменной температуры при математическом моделировании и компьютерном прогнозировании указанных процессов [2].

Следует сказать, что переход в моделировании и прогнозировании деформационных процессов от условий постоянной температуры к переменной связан с определенными объективными трудностями, так как увеличивает размерности параметров математической модели на единицу [3].

При этом параметры-константы становятся функциями одной переменной - температуры, что же касается переменных характеристических функций, то к ним также добавляется температура [4].

При выборе конкретной аппроксимирующей функции задача по прогнозированию деформационного процесса в условиях постоянной температуры сводится к определению четырёх параметров: начальной податливости, предельно-равновесной податливости, структурного коэффициента запаздывания и сило-временной функции [5].

Описанные методики хорошо зарекомендовали себя при исследовании и прогнозировании различных нагруженных состояний синтетических нитей и других полимерных текстильных материалов в условиях постоянной температуры [6].

Имеются также методики исследования деформационных процессов при изменяющейся температуре, которые нельзя назвать универсальными: если деформационное "семейство" удастся посредством сдвигов совместить с некоторой

обобщенной кривой [7].

В этом случае говорят, что имеет место температурно-временная аналогия, а функцию сдвигов называют температурно-временной функцией [8].

То есть исследование деформационных процессов, протекающих при изменяющейся температуре, но при постоянных значениях деформации или напряжения, сводится, при соответствующем выборе нормированной функции, к определению четырех параметров (двух асимптотических значений температур, характеризующих температурные границы исследуемого процесса, структурно-температурного коэффициента и температурно-временной функции) [9].

Имеющиеся методики позволяют прогнозировать деформационные процессы и в условиях изменяющейся температуры [10].

Однако, данные методики либо предполагают нахождение вышеуказанных четырёх параметров для каждого из исследуемых значений температуры, тем самым резко увеличивая число определяемых параметров, либо проводят исследование процессов при температуре, которая изменяется по заранее определенному сценарию (например, линейная зависимость температуры от времени, соответствующая равномерному нагреванию образца; зависимость температуры от времени по заданному закону в ходе остывания и т.п.), что фактически привязывает значения температуры к соответствующим значениям времени, подменяя две переменные (время и температуру) одной [11].

Исследуя деформационные процессы полимерных текстильных материалов при различных значениях температуры и определяя соответствующим образом сило-временные функции для различных полимерных нитей, удалось заметить, что их графики при различных значениях температуры могут быть получены поворотом одного из них на некоторый угол, в первом приближении который можно считать линейно зависящим от значения температуры [12].

Такой поворот графиков физически оправдан, так как при изменении температуры соответствующим образом изменяются значения времён запаздывания при одинаковых значениях напряжения [13].

Аналогично, исследуя характер зависимости остальных параметров от температуры (начальной податливости, предельно-равновесной податливости, параметра интенсивности деформационного процесса), можно в первом приближении считать эту зависимость линейной от температуры, что значительно упрощает процесс прогнозирования [14].

Предложенная методика прогнозирования деформационных процессов полимерных нитей в условиях переменной температуры, опробованная на различных материалах дала расчётные результаты, отличающиеся от экспериментальных на величину, не превышающую 20 %, что вполне технически допустимо [15].

Полученные предложенным способом деформационные характеристики являются параметрами математической модели деформационного процесса. При этом, следует заметить, что размерность параметров при переменной температуре увеличивается на единицу [16].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

## Список литературы

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В., Загородников С.В., Назаров А.В., Дембицкий С.Г., Кирсанова Е.А., Коган А.Г., Левакова Н.М., Мурадян В.Е. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В. Разработка методов повышения качества продукции легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в процесс ее проектирования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2018. № 1. С. 85-95.
4. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.
5. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.
6. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.
7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Моделирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 102-109.
8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов в швейных материалах при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 21-27.
9. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Исследование деформационных и вязкоупругих свойств полиэфирных нитей различной крутки с целью уменьшения затрат на их производство // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 14-20.
10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.
11. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.

12. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
13. Переборова Н.В., Егорова М.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Расчетное прогнозирование процессов ползучести плащевой ткани // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2015. № 3. С. 58-61.
14. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Козлов А.А., Шванкин А.М. Компьютерное прогнозирование и качественный анализ полимерных парашютных строп // Химические волокна. 2018. № 3. С. 94-97.
15. Переборова Н.В., Егорова М.А., Абрамова И.В., Чистякова Е.С. Методы проведения качественной оценки деформационных и восстановительных свойств медицинских текстильных эластомеров на стадии их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 2. С. 17-27.
16. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.

**И. И. Латфуллин, К. И. Максимова**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАПОЛНЕНИЯ МАТЕРИАЛА КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ РАЗРЯДОМ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ**

В производстве меха – высокомолекулярного материала природного происхождения особое место занимают полимерные соединения. Их применение позволяет изменять характеристики материала, повышая его эксплуатационные качества. Наполненная полимерами кожаная ткань меха подобна композиционным материалам. Наряду с рядом положительных свойств, применение полимеров затрудняется их ограниченной диффузией и, соответственно, неравномерным распределением в объеме кожаной ткани. На диффузию и распределение полимеров оказывает влияние как размер частиц наполняющих полимеров, так и строение материала. Структура кожаной ткани имеет многоуровневую систему, образованную переплетением волокон [1]. Волокна, в свою очередь, образуют в дерме сеть переплетающихся спиралей. Дерма представляет собой бипористую систему с взаимосвязанными макро- и микропорами. Для повышения эффективности проведения жидкостных процессов известно применение плазменных методов модификации капиллярно-пористого материала [1].

В работе для интенсификации диффузии и обеспечения равномерного распределения акриловой эмульсии в объеме кожаной ткани применена модификация полуфабриката меховой овчины высокочастотным емкостным разрядом пониженного давления. Меховая овчина характеризуется наличием скрытых дефектов, проявляющихся в низкой прочности структурообразующих слоев. Физико-механические

показатели наполненной меховой овчины определялись по значениям предела прочности при появлении трещин лицевого слоя ( $\sigma_{л.с.}$ ), относительного удлинения при появлении трещин лицевого слоя ( $\varepsilon_{л.с.}$ ) и модуля упругости. Модуль упругости определяли в диапазоне 2-5 МПа.

Модификация полуфабриката меховой овчины проводилась в режиме: мощность емкостного разряда 800 Вт, расход плазмообразующего газа аргона 0,04 г/с, давление в вакуумной камере 25 Па, продолжительность модификации 5 минут. Концентрация акриловой эмульсии для наполнения меховой овчины составляла 10 г/дм<sup>3</sup>.

Показатель  $\sigma_{л.с.}$  контрольного образца меховой овчины составляет 5,2 МПа, наполненного акриловой эмульсией – 5,7 МПа, образца предварительно обработанного в ВЧЕ-разряде – 6,1 МПа. Согласно представленным данным, в результате наполнения происходит структурирование кожной ткани. При этом так же повышаются пластические свойства: показатель  $\varepsilon_{л.с.}$  контрольного образца меховой овчины составляет 39,0 %, наполненного акриловой эмульсией – 48,8 %, образца предварительно обработанного в ВЧЕ-разряде – 57,8 %. Модуль упругости образца предварительно обработанного в ВЧЕ-разряде повышается на 19,1 % (13,1 МПа) по сравнению образцом, наполненного акриловой эмульсией без предварительной модификации – 11,0 МПа.

Таким образом, обработка меховой овчины акриловой эмульсией позволяет повысить эффективность наполнения, что подтверждается повышением показателей  $\sigma_{л.с.}$  и модуля упругости, при этом повысив пластические свойства кожной ткани.

### Список литературы

1. Вознесенский Э.Ф., Шарифуллин Ф.С., Абдуллин И.Ш. Теоретические основы структурной модификации материалов кожевенно-меховой промышленности в плазме высокочастотного разряда пониженного давления: монография. Казань: КГТУ, 2011. 364 с.

**В. В. Иванова, Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская**

Витебский государственный технологический университет

### **БИОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЛЬНОПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Современная промышленность ищет устойчивые альтернативы традиционным материалам, стремясь снизить экологический след и повысить эффективность использования возобновляемых ресурсов. Одним из перспективных направлений является разработка биокomпозитов – материалов на основе природных армирующих наполнителей и полимерных матриц [1]. Использование в качестве армирующего слоя отходов льнопроизводства, в частности вытрясок – смеси коротких волокон, костры и пыли – является экономически перспективным направлением, особенно в концепции устойчивого развития. На льноперерабатывающих предприятиях этот вид отходов образуется в достаточном количестве и имеет узкую область применения, что делает его привлекательным с точки зрения сырья для биокomпозитов.

Использование необработанных вытрясок для производства биокomпозитов сопряжено с двумя взаимосвязанными проблемами. Первая – низкая прочность адгезии между гидрофильным волокном и гидрофобной полимерной матрицей, вызванное наличием в структуре волокон слоя гемицеллюлоз, пектинов, лигнина и восков. Вторая

проблема – высокая структурная и химическая неоднородность вытрясок. В то время как одни волокна могут демонстрировать хорошее сцепление с матрицей, другие остаются слабо связанными, выступая в роли дефектов структуры. В процессе механической нагрузки именно эти участки становятся центрами образования и распространения микротрещин, что в конечном итоге приводит к преждевременному разрушению материала. Таким образом, без предварительной обработки, направленной на унификацию свойств наполнителя, невозможно получить биокompозит со стабильными и воспроизводимыми характеристиками.

На кафедре экологии и химических технологий проводится работа по изучению возможности применения отходов РУПТП «Оршанский льнокомбинат» – вытряски №7а, содержащей целлюлозных волокон 48,3% и массовой долей сора 46,8%, вытряски №6, состоящей из 77,8% элементарного короткого волокна, 9,7% технического волокна и 12,5% костры. Исследуются способы химической и биохимической модификации льняных отходов: щелочная отварка в растворе NaOH, а также ферментативная обработка с применением полиферментных композиций белорусского производства ООО «Фермент». В состав композиции входят целлюлаза, ксиланаза, глюкоамилаза,  $\beta$ -глюканаза,  $\beta$ -маннаназа. В результате работы проводится оценка сорбционных свойств отходов: массовое водопоглощение и скорость впитывания, содержание лигнина, пектинов, с целью выбора предпочтительного способа обработки волокон. Разработанные биокompозиты будут использованы в строительной отрасли для производства современных отделочных материалов с заданными декоративными и функциональными свойствами.

### **Список литературы**

1. Arzumanova N.B., Kakhramanov N.T. Polymer biocomposites based on agro waste: part i. source, classification, chemical composition and treatment methods of lignocellulosic natural fibers // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/polymer-biocomposites-based-on-agro-waste-part-i-source-classification-chemical-composition-and-treatment-methods-of> (дата обращения: 01.11.2025).

### **И. М. Егоров**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Полипропиленовые и поливинилиденфторидные нити находят широкое применение в медицине. В частности, они используются в хирургических имплантатах для реконструктивно-восстановительной хирургии [1].

Имплантаты, изготовленные из указанных нитей, применяются, например, для укрепления поврежденной брюшной стенки, подвергающейся действию внутрибрюшного давления. При этом, эти имплантаты в виде сетки из полимерных нитей размещаются на брюшной стенке [2].

Описанные имплантаты, применяемые для противодействия давлению, возникающему внутри определенных участков человеческого тела, являются изделиями

контркомпрессионного назначения. В последнее время находят свое применение основывающиеся полимерные сетчатые эндопротезы, укрепляющие неполноценные ткани брюшной стенки [3].

Для выполнения своей функциональной задачи, сетчатые эндопротезы должны обладать соответствующими деформационными и прочностными свойствами [4].

Необходимым условием выполнения изделием своего функционального назначения является ограниченность растяжимости сеток, т.е. упругая составляющая деформации эндопротезов под действием внутрибрюшного давления должна быть умеренной [5].

Интерес к системному анализу деформационных свойств нитей медицинского назначения, а также сетчатых полотен из этих нитей, обусловлен тем, что результаты этого анализа проясняют влияние деформационных характеристик нитей на механические свойства указанных сетчатых полотен [6].

На механические свойства сеток влияют: структурное расположение нитей в ячейках полотна, форма петель, вид распределения внешней нагрузки по элементам структуры и другие особенности трикотажных полотен [7].

Выяснение степени влияния деформационных характеристик нитей на механические свойства сеток позволит системно находить пути совершенствования качества эндопротезов, находить корреляцию свойств нитей и параметров структуры сеток [8].

Для изучения механических свойств эндопротезов были выбраны два вида основывающихся трикотажных полотен из полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей [9].

При проведении системного анализа деформационных свойств изучаемых нитей и сеток необходимо учитывать, что на эндопротезы, закрепленные на стенке поврежденной брюшной полости, действует внутрибрюшное давление, имеющее характер гидростатического давления. Нагружение эндопротезов при этом подобно мембранному [10].

Для проведения системного анализа деформационных свойств эндопротезов, необходимо также провести определение механических характеристик, позволяющих рассчитать возникающие деформации в эндопротезах, при выполнении ими контркомпрессионной функции [11].

Основной результат сравнения деформационных свойств нитей и сеток состоит в том, что упругая деформация сетчатых полотен связана, главным образом, с обратимым проскальзыванием нитей в точках контакта, изменением формы элементарного звена сетки, вклад же растяжения нити мал [12].

При этом коэффициенты упругости сетчатых полотен оказываются пропорциональными коэффициентам упругости нитей, что не позволяет полностью исключить влияние упругости нитей на упругость сетчатых полотен [13].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

#### **Список литературы**

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.

2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.
4. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.
5. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.
6. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Моделирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 102-109.
7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов в швейных материалах при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 21-27.
8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Исследование деформационных и вязкоупругих свойств полиэфирных нитей различной крутки с целью уменьшения затрат на их производство // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 14-20.
9. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.
10. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.
11. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
12. Переборова Н.В., Егорова М.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Расчетное прогнозирование процессов ползучести плащевой ткани // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2015. № 3. С. 58-61.

13. Переборова Н.В., Егорова М.А., Абрамова И.В., Чистякова Е.С. Методы проведения качественной оценки деформационных и восстановительных свойств медицинских текстильных эластомеров на стадии их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 2. С. 17-27.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ С РЕЛАКСАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

Изучение прочностных свойств волокон и нитей имеет основополагающее значение для практической эксплуатации изделий из них. Прочность ориентированных полимерных материалов связана со структурой волокна, прежде всего с наличием дефектов, которые могут быть локализованы в различных местах многоуровневой структуры ориентированного полимера. Распределение дефектов носит случайный характер поэтому и прочностные характеристики являются величинами статистическими. В настоящей работе для анализа прочностных свойств нитей использовался статистический подход. Для исключения наложения макроскопических структурных процессов статистическая обработка результатов эксперимента и математическое описание распределения прочности были проведены на элементарных нитях полиамида-6. Цель работы состояла в установлении взаимосвязи особенностей статистического распределения прочностных свойств элементарных нитей и элементарных волокон с протекающими в процессе нагружения релаксационными процессами. Выбор объекта исследования (элементарных нитей полиамид-6), полученных из комплексных нитей, позволило исключить влияние на прочность макроскопических эффектов, свойственных комплексным синтетическим нитям. Показано, что распределение прочности элементарных нитей полиамида-6 может быть корректно описано законом распределения Вейбулла, справедливого для хрупких материалов. Распределение Вейбулла достаточно точно аппроксимируется логнормальным распределением, а, при определенных значениях параметров распределения (модуль Вейбулла  $k$  лежит в интервале 2.5–3.5), просто нормальным распределением Гаусса, которое широко используется для статистического исследования больших выборок. Сравнения значений «пиковых» разрывных нагрузок позволило выявить, что скорость растяжения влияет на значения прочности элементарных нитей, определяемых из статистических распределений: увеличение скорости растяжения, приводит к повышению значения прочности. Эти результаты находятся в соответствии с представлениями о взаимосвязи релаксационных процессов, протекающих в полимерных структурах с их механическим поведением. Протекания релаксационных процессов в наиболее нагруженных элементах микроструктуры, которые в первую очередь и подвергнуты разрыву, могут приводит к уменьшению их нагруженности вследствие достаточно высокой сегментальной подвижности в гибкоцепных полимерных структурах. Сегментальная подвижность и является основной причиной выраженного релаксационного поведения гибкоцепных полимерных структур. Показано, что релаксационные процессы, протекающие в ориентированных структурах полимера, в

нашем случае ориентированном полиамиде, отражаются и при статистическом подходе к анализу прочности элементарных нитей.

В работе проведён анализ экспериментальных результатов, на основании которого установлена взаимосвязь скорости растяжения элементарных нитей полиамида-6 с особенностями статистического распределения прочностных свойств. Показано, что увеличение скорости растяжения приводят к повышению значения прочностных характеристик, полученных на основе статистического анализа, что связано со скоростью протекания релаксационных процессов в нагруженных полимерных структурах, в том числе и в ориентированных нитях.

**А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **СОРБИРУЮЩИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ОДЕЖДЫ**

При проектировании многослойных швейных изделий, обеспечивающих комфорт, защиту от внешней среды, необходимо учитывать сорбционные свойства входящих в ее состав материалов, их гидрофильно-гидрофобные свойства, которые, в идеале, должны препятствовать проникновению влаги из внешней среды и одновременно выводить излишнюю влагу и пот из прилегающих к телу человека слоев. При выборе материалов для пошива изделий летнего или зимнего ассортимента, спортивной или повседневной одежды конструктор учитывает сорбционные свойства входящих в состав материалов волокон и нитей, которые и определяют комплекс гигиенических свойств изделия.

Сорбционные свойства зависят от химического состава волокон и нитей, из которых изготовлен материал. Высокую способность поглощать водяные пары имеют натуральные волокна (хлопок, лён, конопля, шерсть, шёлк) и искусственные (вискоза, модал, лиоцелл). Синтетические, напротив, в силу своей химической структуры обладают минимальной гигроскопичностью (полиэфирные, полиамидные, полиолефиновые), поскольку в их составе почти отсутствуют гидрофильные группы. Немаловажную роль, наряду с химической природой, играет и пористость волокон, их аморфно-кристаллическая надмолекулярная структура.

Для повышения сорбционных свойств текстильных материалов используют различные приемы – проводят химическую модификацию, увеличивая количество гидрофильных групп, закрепляют на поверхности частицы специальных сорбентов, разрыхляют поверхность волокнистого материала при отделке и др.

В нашей работе осуществлен комплексный подход к созданию волокон с высокими сорбирующими свойствами. Для получения волокон мы использовали предварительно растворенные природные волокнообразующие полимеры целлюлозу и фиброин шелка в виде волокнистых отходов производств. Это обеспечивает наличие большого количества полярных группировок в химическом составе волокна. Одновременно варьируя состав смеси и осадительной ванны при формировании волокна, мы обеспечивали формирование надмолекулярной структуры с высокой степенью аморфности. Такая структура обеспечивает доступ сорбируемого компонента к активным группам.

Готовили 10%-ные растворы фиброина шелка и древесной лиственной целлюлозы в ацетате бутилметилимидазолия при температуре от 90 °С. Полученные прозрачные растворы фильтровали и смешивали при заданных соотношениях. Волокна получали, продавливая растворы из шприца осаждением в этанол, с последующей промывкой в дистиллированной воде. Высушивали при комнатной температуре. Полноту промывки пленок от растворителя контролировали на элементном анализаторе CHNS(O)-932 (США).

Сорбционные свойства полученных волокон определяли по разным сорбентам – воде, парам толуола, индикатору метиленовому голубому, йоду, используя известные методики. В результате выявлено, что сорбционные свойства смесовых волокон до 2 раз превосходят таковые для природных волокон целлюлозы и шелка. Так, сорбция метиленового голубого, определенная из растворов при помощи фотоэлектроколориметра КФК-2-УХЛ 4.2, оказалась сопоставимой с показателями природных волокон (14 – 20 мг/г), сорбция йода оказалась в диапазоне 0,02 – 0,13 мг/г волокна. Сорбция толуола волокнами из смесей полимеров, в зависимости от состава волокна, лежит в диапазоне 50 – 60 мг/г (для природных волокон этот показатель составил 37 – 38).

Таким образом, материалы из искусственных волокон на основе смесей целлюлозы и фиброина перспективны для применения в качестве сорбирующих компонентов при проектировании комфортной многослойной одежды.

**М. А. Егорова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПРОВЕДЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПОЛЗУЧЕСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДНЫХ НИТЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

При реконструктивно-восстановительных операциях, направленных на ликвидацию обширных дефектов опорных мягких тканей, возникающих в ряде хирургических вмешательств, все шире используют полимерные сетчатые имплантаты. Основной задачей сетчатых имплантантов (эндопротезов) является укрепление поврежденных тканей при хирургическом вмешательстве [1].

Для выполнения своей основной функции сетчатые эндопротезы должны обладать соответствующими деформационными и прочностными свойствами, чтобы противодействовать внутрибрюшному давлению [2].

На деформацию сетки влияют деформационные характеристики самих нитей, а также структурные характеристики полотен: форма элементарных ячеек, их взаимное расположение, фиксация нитей в узлах ячеек и другие параметры. Это объясняет важность оценки характеристик ползучести самих нитей для выяснения роли свойств нитей в определении характеристик ползучести сетчатых эндопротезов [3].

Механические свойства этих материалов определяются в рамках существующих стандартов, в которых ползучесть и механическая релаксация усилий практически не принимаются во внимание, хотя у данных материалов релаксационные свойства проявляются достаточно сильно и поэтому должны учитываться при решении вопросов функционирования имплантатов [4].

Задачу исследования и прогнозирования ползучести изучаемых полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей медицинского назначения необходимо решать на основе математического моделирования вязкоупругости при использовании данных эксперимента в длительных деформационных режимах под действием постоянной нагрузки  $\sigma$  [5].

Наряду с анализом данных длительного эксперимента в режиме ползучести, представляется желательным проведение анализа данных и при кратковременной ползучести нитей, которую можно исследовать методом физической кинетики. На основе указанного метода можно определить характеристики элементарных актов ползучести нитей и возможность прогнозирования ползучести [6].

Физический анализ ползучести позволяет определять элементарные акты процесса ползучести нитей, которые могут послужить основой для разработки экспресс-метода прогнозирования деформационных процессов на основе кратковременных испытаний, а также провести сопоставление деформационных свойств нитей и сетчатых эндопротезов из них [7].

В элементарных актах ползучести полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей происходит термофлуктуационное преодоление потенциальных барьеров, снижаемых приложенным растягивающим напряжением [8].

Как известно, на молекулярном уровне растягивающее нагружение ориентированных полимеров вызывает в цепных молекулах переходы гош-конформеров («свернутых») в транс-конформеры («распрямленные») [9].

Активационный объем в элементарных актах конформационных переходов в полимерах приближенно равен объему элементарного звена (не мономерного звена, которое, как правило, состоит из нескольких элементарных звеньев) в цепной полимерной молекуле [10].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.
2. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Титова Л.В. Математическое моделирование вязкоупругих свойств швейных армированных полиэфирных нитей // Химические волокна. 2021. № 4. С. 3-7.
3. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.
4. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.
5. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4(382). С. 229-234.

6. Демидов А.В., Гребёнкин А.Н., Иванов К.Г., Переборова Н.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, применяемых в швейной, обувной и текстильной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2011. № 5(20). С. 19-21.
7. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости текстильных материалов // Текстильная промышленность. 2006. № 1-2. С. 55-57.
8. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности // Текстильная промышленность. 2006. № 8. С. 14-16.
9. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.
10. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.

**Н. В. Дианкина, А. С. Кухаренко**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЦИОННО АКТИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛА**

В настоящее время углеродные материалы несомненно одни из перспективнейших материалов, используемых во всех известных нам областях промышленности. Одно из популярных направлений – сорбционно активные материалы (САм), как правило, известны обывателю в форме гранул и порошков.

Наравне с гранулированными и порошкообразными сорбентами применяются также сорбционно-активные материалы в виде волокон, тканей и нетканых материалов, скорость сорбции которых как правило в десятки, а то и в сотни раз более выше нежели у дисперсных сорбентов. Кроме того, применение волокнистых сорбентов позволяет сократить толщину рабочего слоя в изделиях, уменьшить их вес и габариты, повысить степень улавливания высокотоксичных и агрессивных веществ. Таким образом формирование сорбента в виде волокнистого материала открывает широкие возможности аппаратного оформления процессов очистки воды, воздуха и обеспечивает создание более рациональных средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожи от химических соединений.

Одними из популярнейших сорбентов являются, безусловно, – углеродные волокнистые сорбенты. Прекурсорами для углеродных волокнистых материалов могут быть различные химические или природные органические волокна, например: гидратцеллюлоза, полиакрилонитрил, поликсадиазол (ПОД) и др.

И если первые два волокна известны, как прекурсоры для получения углеродных волокон, в частности и сорбционно-активных, то в случае полиоксадиазола, как правило, получают термостойкое, светостойкое волокно. Однако эти волокна могут быть использованы для создания углеродных сорбционно активных материалов благодаря их способности к модификации поверхности и функционализации.

Уместно отметить, что первые исследования по получению углеродных волокон (УВ) и активированных углеродных волокон (АУВ) из ПОД волокон были осуществлены нами еще в 2003 г [1, 2].

В работе были получены углеродные материалы на основе ПОД-прекурсора дополнительно содержащие ТУ (ПОД-ТУ) 2,5 %; 5,0 %; 10,0 %. Активированные волокнистые материалы получали при их обработке водяным паром при температуре 850 °С. В качестве объектов сравнения выступали «обычные» промышленно выпускаемые ПОД волокна.

Исследования показали, что карбонизованные волокна из исходного ПОД проактивировать не удастся, в тоже время волокна из ПОД-ТУ активируются относительно легко, однако при ТУ 10 % произошла деструкция образцов. При содержании ТУ в ПОД 5 % удалось получить АУВ практически с такими же характеристиками, как у волокон из гидратцеллюлозы.

***Руководитель: проф. кафедры НВКМ Асташкина О.В.***

#### **Список литературы**

1. Mukhina O.Yu. Dis.... Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg, 2003. 162 p.
2. Piskunova I.A. Dis.... Kand. tech. science. St. Petersburg, 2003. 155 p.

**Ю. А. Лимич, Д. А. Петрова, С. И. Джуама**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛУЗГИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Поиск экологичных решений в области создания новых материалов является одной из актуальных задач современной промышленности. Особый интерес представляют возобновляемые ресурсы, такие как отходы агропромышленного комплекса. Лузга подсолнечника, являясь массовым и дешевым сырьем, демонстрирует значительный потенциал для применения.

Измельченная до нужных фракций лузга подсолнечника может служить в качестве наполнителя в композиционных материалах, так как имеет ряд преимуществ. Она является массовым отходом масложировой промышленности, что делает ее очень дешевым и доступным сырьем. Лузга семян подсолнечника имеет низкую плотность, что позволит получать легкие композиты, что важно для автомобиле- и машиностроения. Наличие лигнина и целлюлозы в составе придает частицам лузги хорошие физико-механические свойства (жесткость и прочность). Использование природного наполнителя всегда будет выигрышным вариантом в аспекте экологии по сравнению с

наполнителем синтетической природы при достижении необходимых свойств композита.

Лузга семян подсолнечника также является сырьем для получения углерода. Высокое содержание лигноцеллюлозной биомассы (40–50 % целлюлозы, 25–30 % лигнина, 20–25 % гемицеллюлозы) при карбонизации позволяет образовывать структурированный углеродный каркас. Низкое содержание зольности (около 2–4 %) по сравнению с другими сельхозотходами (например, рисовой шелухи) дает более чистый углеродный продукт. Также можно осуществлять пропитку лузги перед карбонизацией в различных растворах, например, водных растворах гидроксида натрия, гидроксида кальция и фосфорной кислоты, с целью повышения выхода углерода. Карбонизированная лузга может применяться в качестве сорбента, а может также использовать в качестве наполнителя в композиционных материалах.

На основании анализа научно-технических данных, планируется разработка композиционных материалов с применением карбонизированной и некарбонизированной лузги семян подсолнечника в качестве наполнителя и изучение свойств композитов. На данном этапе проводится комплексный анализ свойств исходной лузги, а также оптимизация режимов ее карбонизации и модификации.

### **Список литературы**

1. Тунцев Д.В., Куликов А.В., Просвирников Д.Б. [и др.] Получение целлюлозного волокна из лузги подсолнечника // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 151-155.
2. Подденежный Е.Н., Дробышевская Н.Е., Бойко А.А. [и др.] Использование молотой лузги в качестве наполнителя в биоразлагаемые материалы // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2023. № 2. С. 47-57.

**Е. М. Мазуркевич, Н. С. Лукичева, В. А. Хохлова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ВЛИЯНИЕ ХЛОРГЕКСИДИНА НА ЭКЗОТЕРМУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ**

Полимерные композиты находят всё большее применение для изготовления изделий медицинского назначения, это корпуса и элементы медицинской техники, особо чистые отделочные материалы, двери, протезы, ортезы, реабилитационное оборудование (кресла-коляски, экзо-скелеты). В качестве матриц для таких изделий используют литьевые акриловые смолы или эпоксидные связующие. Причем благодаря высокому уровню адгезии, химической стойкости и механической прочности предпочтение в последнее время отдается именно эпоксидам. Интересны технологии придания дополнительной бактерицидной защиты эпоксикомпозитам и влияние на их термореактивные свойства биоцидных добавок, таких как хлоргексидин. При отверждении эпоксидных композиций протекает экзотермическая реакция, характеризующаяся выделением тепла и формированием трёхмерной сетчатой

структуры. Кинетика этого процесса определяется типом отвердителя, условиями термообработки и присутствием различных добавок.

Хлоргексидин (бигуанидное соединение с антисептическими свойствами) способен вступать во взаимодействие с функциональными группами эпоксидной смолы и/или отвердителя, изменяя соотношение реакционноспособных компонентов. Его введение может привести к модификации полярности среды, увеличению или снижению подвижности макромолекул и, как следствие, к смещению температурного пика отверждения [1].

Экспериментальные исследования кинетики отверждения эпоксидной смолы с добавлением хлоргексидина показали, что введение 20%-го раствора хлоргексидина в количестве 2% от общего объема компаунда существенно влияет на характер протекания реакции. Для модифицированной композиции пик экзотермической реакции наблюдается при температуре 118 °С и достигается уже на 11-й минуте от начала отверждения, тогда как у исходной эпоксидной смолы без добавок максимальный пик составляет лишь 48 °С и фиксируется на 191-й минуте. Такое резкое смещение пика в область более высоких температур при значительном сокращении времени до его достижения свидетельствует об ускорении реакции отверждения и повышении интенсивности тепловыделения. Вероятно, хлоргексидин способствует активации процессов сшивания за счёт взаимодействия своих функциональных групп с эпоксидными циклами, что ускоряет образование трёхмерной полимерной сетки [2]. В то же время столь значительное увеличение температуры пика может указывать на изменение механизма реакции и перераспределение тепловых потоков внутри системы. Для практического применения это означает возможность целенаправленного регулирования скорости и температуры отверждения, что особенно важно при создании эпоксидных материалов с антимикробными свойствами.

#### **Список литературы**

1. Berrow M., Brooks A. Development and characterisation of antimicrobial epoxy resin containing chlorhexidine digluconate (CHX) // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. № 12463.
2. Brezhnev A., Neelakantan P., Tanaka R. [et al.] Antibacterial Additives in Epoxy Resin-Based Sealers: A Review // Dent. J. 2019. Vol. 7. № 72.

**М. А. Егорова, И. М. Егоров**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Одним из примеров использования синтетических швейных материалов в индивидуальных средствах защиты является их применение в качестве внутренних слоёв защитных касок для охраны головы человека от травматизма, например, при строительных работах [1].

Применяемые при этом швейные материалы и конструкции из них должны обладать определёнными упругими и вязкоупругими свойствами [2].

В связи с этим, актуальной задачей является получение прогноза на ползучесть

синтетического швейного материала или конструкции из него при различных режимах силового воздействия [3].

Примерами таких режимов могут служить различного рода деформационно-восстановительные процессы, как с полной разгрузкой, так и с частичной [4].

К простейшему примеру режима нагружения можно отнести деформационный процесс с постоянной скоростью деформирования [5].

Экспериментально указанный процесс описывается с помощью диаграммы растяжения, которая может служить средством контроля за точностью прогнозирования других, более сложных режимов деформирования [6].

В основе методик определения характеристик ползучести синтетических швейных материалов лежит использование различных математических моделей, аппроксимирующих экспериментальные "семейства" ползучести посредством нормируемых функций. Рассмотрим один из вариантов такой методики [7].

Напряжённо-деформированное состояние синтетического швейного материала в области неразрушающих нагрузок описывается интегральным уравнением Больцмана-Вольтерра для процесса ползучести [8]

$$\varepsilon_t = D_o \sigma_t + \int_0^t \sigma_{t-s} D'_{\sigma s} ds, \quad (1)$$

где

$D'_{\sigma s} = \frac{\partial D_{\sigma s}}{\partial s}$  - ядро ползучести, отражающее сило-временную аналогию,

$\sigma_t$  - напряжение,

$\varepsilon_t$  - деформация,

$D_o$  - начальная податливость,

$D_{\infty}$  - предельно-равновесная податливость,

$t$  - время.

Податливость  $D_{\sigma t}$  аппроксимируем с помощью нормированной функции  $\phi_{\sigma t}$  [9]:

$$D_{\sigma t} = D_o + (D_{\infty} - D_o) \phi_{\sigma t}, \quad (2)$$

которую зададим в виде [11]

$$\phi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg(W_{\sigma t}) = \Psi(W_{\sigma t}), \quad (3)$$

где

$$W_{\sigma t} = \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} = \frac{1}{b_{n\sigma}} \left( \ln \left( \frac{t}{t_1} \right) + \ln \left( \frac{t_1}{\tau_{\sigma}} \right) \right) - \quad (4)$$

структурно-сило-временной аргумент-функционал,

$t_1$  - задаваемое базовое значение времени,

$\tau_{\sigma}$  - время запаздывания,

Нормированное логарифмическое ядро ползучести имеет вид [10]

$$\bar{r}_{\sigma t} = \frac{\partial \phi_{\sigma t}}{\partial \ln t} = \frac{1}{b_{n\sigma}} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2}. \quad (5)$$

Приведенная математическая модель позволяет моделировать и прогнозировать процессы ползучести синтетических швейных материалов.

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.
3. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.
4. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.
5. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.
6. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.
7. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
8. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Козлов А.А., Шванкин А.М. Компьютерное прогнозирование и качественный анализ полимерных парашютных строп // Химические волокна. 2018. № 3. С. 94-97.
9. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 28-30.
10. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.

## **ДВОЙНОЙ ПЛАТИРОВАННЫЙ КУЛИРНЫЙ ТРИКОТАЖ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Традиционно в качестве наполнителя композиционных материалов используется ткань, сетчатые экструдированные материалы или мультиаксиальный основовязанный трикотаж. Перечисленные наполнители относятся к непрерывным армирующим компонентам. Однако ни пластиковая сетка, ни металлическая не может обеспечить обтяжку профиля сложной формы на том же уровне, что и кулирное трикотажное полотно.

Однако, сравнительно недавно в качестве армирующего компонента для композитных материалов, в рамках исследовательских работ, стал использоваться кулирный трикотаж, который является квази-непрерывным наполнителем. Наиболее интересным видом такого трикотажа можно считать ластик 1+1, так как он имеет равномерную и объемную структуру, высокую растяжимость и по краям полотна не закручивается. Вязание ластика 1+1 из двух нитей, где одна является грунтовой и остается внутри полотна, а вторая – платировочная выходит наружу (и на одну, и на другую сторону). Грунтовая может обеспечивать прочность, а платировочная – высокую адгезию наполнителя к матрице.

Принятые в технологической практике методы проектирования параметров трикотажа ориентированы на полотна, предназначенные для одежды и имеющие, как правило, весьма плотную структуру, которая характеризуется модулем петли 20 – 23 (т. е. отношение длины нити в петле к толщине нити). Такие значения модуля петли хороши для одежды, что отражено в современных методиках проектирования трикотажа [1]. Для армирования композита нужен трикотаж с модулем петли выше 30 [2]. Технологические параметры такого трикотажа можно рассчитать лишь с учетом жесткости нити и ее коэффициента трения. Методика такого расчета, учитывающая свойства грунтовой и платировочной нити, предложена в настоящей работе. Эта задача имеет и практическую сторону: трикотаж из высокопрочных нитей крайне тяжело кроить, поэтому желательно вывязывать его сразу по заданным форме и размеру, который можно точно рассчитать, лишь зная технологические параметры – петельный шаг  $A$  и высоту петельного ряда  $B$ .

### **Список литературы**

1. Ровинская Л.П., Макаренко С.В., Филипенко Т.С. Проектирование технологических параметров трикотажных полотен и чулочно – носочных изделий: учебное пособие. СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД», 2013. 110 с.
2. Труевцев А.В., Цобкалло Е.С., Москалюк О.А., Молоснов К.А. Композиты с кулирным трикотажным наполнителем: монография. СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2020. 159 с.

## **ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В производствах текстильной и легкой промышленности используется большое число текстильных материалов различного микро и макро-строения. По типу строения текстильных материалов их можно условно разделить на две группы [1].

Первую группу составляют образцы, имеющие простую макроструктуру, то есть различного рода синтетические нити. Ко второй группе относятся материалы, имеющие более сложную макроструктуру, а именно, состоящие из комбинации простых материалов. К этой группе относятся всевозможные ткани, ленты, пряжа, жгуты, искусственные кожи и т.д. [2].

Активные методы исследования физико-механических свойств полимеров начались в середине прошлого столетия [3]. Основу этих исследований составляют феноменологические теории, базирующиеся на эксперименте.

В основу одного из развиваемых направлений заложены представления об активирующем характере механических воздействий в зоне действия неразрушающих нагрузок и деформаций [4].

Математические модели, описывающие релаксацию, базируются на учете времен релаксации [5] и, соответственно, времен запаздывания - для описания ползучести.

В настоящее время наиболее изученной остается первая группа материалов, для которой созданы математические модели, удовлетворительно описывающие их физико-механические свойства [6].

Здесь, например, можно выделить модель [7], в основе которой лежит предположение о нормальной форме распределения релаксирующих частиц по собственным временам релаксации и запаздывания.

Данная модель, как и некоторые другие, позволяют по экспериментальным "семействам" релаксации и ползучести рассчитать основные физико-механические характеристики синтетических материалов, принадлежащих преимущественно к первой группе [8].

Однако, как показала экспериментальная проверка, при применении указанных методик к материалам второй группы точность определения физико-механических характеристик снижается [9].

Данное обстоятельство, как и тот факт, что вторая группа материалов, представленная значительно шире, чем первая группа, в настоящее время менее изучена, породило причины поиска новых математических моделей вязкоупругих свойств, учитывающих сложную макроструктуру изучаемых объектов [10].

Основная задача, которую необходимо решить при проектировании средств индивидуальной защиты человека от механических воздействий, заключается в определении показателей оценки физико-механических свойств ударозащитных прокладок и их количественных значений, адекватных критериям травмоопасности [11].

Эксперименты показали, что математическая модель вязкоупругих свойств материала сложного макро-строения должна быть построена с учетом суммирования многообразия распределений частиц по собственным временам релаксации и запаздывания, образующих материал мононитей [12].

Такое распределение, с одной стороны, должно быть близким к нормальному, а с

другой стороны, обладать замедленной сходимостью функции распределения к своим асимптотическим значениям, что соответствует расширенному спектру релаксации. В качестве распределения указанного типа предпочтительно выбрать распределение на основе функции нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ) [13]

$$\phi(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cdot \arctg \left( \frac{1}{b_n} \cdot \ln \frac{t}{t_1} \right), \quad (1)$$

где  $t$  - текущее время,  $t_1$  - базовое время,  $1/b_n$  - структурный параметр.

Отличительной особенностью данного распределения является принадлежность функции НАЛ к классу элементарных функций, что значительно упрощает интегро-дифференциальные преобразования [14].

Методики определения вязкоупругих характеристик и дальнейшего прогнозирования вязкоупругих процессов, основанные на применении функции НАЛ, применительно к таким текстильным материалам сложного макро-строения, как пряжа, ткани, ленты, жгуты и др., как показала проверка, дают результаты близкие к экспериментальным [15].

Для математического моделирования процессов релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов можно использовать математические модели с функцией НАЛ [16]

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \cdot \phi_{\varepsilon t}, \quad \phi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right), \quad (2)$$

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \cdot \phi_{\sigma t}, \quad \phi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \left( \frac{1}{b_{n\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right), \quad (3)$$

где  $t$  - время,  $1/b_{n\varepsilon}$  - параметр интенсивности процесса релаксации,  $1/b_{n\sigma}$  - параметр интенсивности процесса ползучести,  $\tau_\varepsilon$  - время релаксации,  $\tau_\sigma$  - время запаздывания,  $E_{\varepsilon t} = \sigma/\varepsilon$  - релаксирующий модуль,  $E_0$  - модуль упругости,  $E_\infty$  - модуль вязкоупругости,  $D_{\sigma t} = \varepsilon/\sigma$  - податливость,  $D_0$  - начальная податливость,  $D_\infty$  - предельно-равновесная податливость,  $\varepsilon$  - деформация,  $\sigma$  - напряжение, для определения вязкоупругих характеристик материалов технического назначения.

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### Список литературы

1. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Дроботун Н.В., Васильева В.В. Анализ диаграмм растяжения ориентированных волокон полипропилена // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 26. № 4. С. 57-63.
2. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.

3. Макаров А.Г., Егоров И.М. Математическое моделирование вязкоупругих процессов морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 4. С. 23-32.
4. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
5. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Моделирование релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основа анализа их эксплуатационных свойств // Химические волокна. 2018. № 2. С. 36-39.
6. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Егоров И.М. Методология проведения сравнительного анализа вязкоупругих свойств текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2018. № 1(33). С. 120-129.
7. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Разработка методов математического моделирования процессов релаксации и ползучести полимерных нитей на основе их спектральной интерпретации // Химические волокна. 2017. № 1. С. 69-73.
8. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А. Варианты математического моделирования и системного анализа механической релаксации и ползучести полимерных материалов // Химические волокна. 2017. № 4. С. 46-51.
9. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егорова М.А., Васильева Е.К., Вагнер В.И. Системный анализ термовязкоупругости полимерных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 27. № 1. С. 96-100.
10. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Чистякова Е.С., Вагнер В.И. Варианты компьютерного прогнозирования деформационных процессов технического текстиля // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2018. № 1(34). С. 109-119.
11. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов // Химические волокна. 2016. № 1. С. 37.
12. Макаров А.Г., Шванкин А.М. Математическое моделирование деформационных процессов арамидных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2016. № 1. С. 10-14.
13. Демидов А.В., Макаров А.Г., Вагнер В.И., Егорова М.А. Методы системного анализа функционально-эксплуатационных деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 28-30.
14. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.
15. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.

16. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Актуальность проблемы утилизации полиакрилонитрила (ПАН) обусловлена его значительной долей в структуре синтетических текстильных отходов. Низкая биоразлагаемость этого материала в сочетании с постоянным накоплением на полигонах создает серьезную экологическую нагрузку, требующую разработки комплексных решений в области рециклинга. Особую сложность представляет химическая структура ПАН, характеризующаяся высокой устойчивостью к различным видам воздействия.

Существующие традиционные методы переработки демонстрируют ограниченную эффективность. Механический рециклинг, хотя и остается наиболее распространенным подходом, приводит к необратимому снижению механических свойств материала, что существенно сужает область его последующего применения. Энергетическая утилизация, в свою очередь, сопровождается безвозвратной потерей ценного ресурса и эмиссией токсичных соединений, что не соответствует принципам циркулярной экономики.

Наиболее перспективным направлением представляется химический рециклинг, в частности метод сольволиза, позволяющий трансформировать отходы ПАН в качественно новое сырье. Технология селективного растворения в специально подобранных растворителях с последующим формованием открывает возможности для создания композиционных материалов с заданными эксплуатационными характеристиками.

Ключевыми научно-исследовательскими задачами в этой области являются оптимизация технологических параметров процесса, включая подбор высокоэффективных и регенерируемых растворителей, определение оптимальных температурно-временных режимов растворения. Не менее важной задачей является обеспечение экономической целесообразности предлагаемых решений.

Практическая значимость разработки технологии сольволиза заключается в возможности создания замкнутого цикла использования ПАН-содержащих материалов. Это позволит значительно снизить зависимость текстильной промышленности от первичного сырья, сократить объемы захоронения отходов и минимизировать экологический след отрасли.

В настоящее время ведутся исследования по установлению пределов растворимости полиакрилонитрила в различных классах растворителей. Экспериментальные данные подтверждают, что диметилформамид демонстрирует наибольшую эффективность в отношении текстильных отходов ПАН, обеспечивая

полное растворение. Параллельно проводятся работы по определению максимально достижимой концентрации растворов ПАН, где уже получены образцы с содержанием полимера 20–22 % масс., сохраняющие стабильность реологических характеристик и пригодные для последующего формования композиционных материалов.

**М. А. Егорова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА РЕЛАКСАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Времена релаксации полимерных текстильных материалов характеризуют времена перехода "релаксирующих" частиц макромолекул полимера из одного устойчивого энергетического состояния в другое. Характер таких переходов может быть различным [1].

Он обусловлен, как реологией полимерного текстильного материала, так и величиной приложенной деформации или нагрузки. Его можно объяснить, с одной стороны, конформационными энергетическими переходами внутри макромолекул материала, когда меняется их форма при перестроении, а с другой стороны - происходят сдвиги макромолекул друг относительно друга или другие изменения, порожденные энергетическими изменениями [2].

Наиболее удовлетворительные результаты при рассмотрении релаксационных процессов полимерных текстильных материалов можно получить при применении физической модели Максвелла [3].

Применение модельных представлений для точного количественного описания релаксации при исследовании свойств полимеров встречает определенные затруднения [4].

Различное эксплуатационное поведение полимеров, структурные изменения в процессе релаксации, зависящее от предыстории образца, температуры, продолжительности действия и величины приложенной деформации, затрудняют определение точных реологических характеристик процесса [5].

Однако, целесообразность использования модельных представлений при качественном или приближенном количественном описании механических свойств не вызывает сомнений [6].

Одним из методов описания релаксационных процессов полимерных текстильных материалов является использование механических моделей [7].

Рассматривая соотношения между различными релаксационными функциями, часто приходится иметь дело со спектром времен релаксации [8].

Достаточно точные приближения спектра релаксации можно найти по обработке экспериментального семейства кривых релаксации [9].

Нахождение спектра релаксации означает фактически нахождение распределения времён релаксации, которые не могут быть определены экспериментально [10].

Для определения аналитической формы спектра релаксации полимерных текстильных материалов воспользуемся вариантом математической модели релаксационного процесса в виде [11]

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \varphi'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta, \quad (1)$$

где

$\varepsilon_t$  - деформация, зависящая от времени  $t$ ,

$\sigma_t$  - напряжение, зависящее от времени  $t$ ,

$E_0$  - модуль упругости,

$E_\infty$  - модуль вязкоупругости,

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + th \left( \frac{A_\varepsilon}{2} \cdot \ln \left( \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right) \right) - \quad (2)$$

релаксационная нормированная функция - основа математической модели релаксации [12],

$$\begin{aligned} \varphi'_{\varepsilon t} = \bar{r}_{\varepsilon t} &= \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial (\ln t)} = \frac{A_\varepsilon}{4} \cdot \frac{1}{ch^2(W_{\varepsilon t})} = \\ &= \frac{A_\varepsilon}{4} \cdot (1 - th^2(W_{\varepsilon t})) = A_\varepsilon \cdot \varphi_{\varepsilon t} \cdot (1 - \varphi_{\varepsilon t}) - \end{aligned} \quad (3)$$

интегральное ядро релаксации,

$$W_{\varepsilon t} = \frac{A_\varepsilon}{2} \cdot \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} = \frac{A_\varepsilon}{2} \cdot \left( \ln \left( \frac{t}{t_l} \right) + \ln \left( \frac{t_l}{\tau_\varepsilon} \right) \right). \quad (4)$$

$A_\varepsilon$  - параметр интенсивности процесса релаксации,

$$f_{\varepsilon, \tau_\varepsilon} = \ln \left( \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) - \quad (5)$$

логарифмическая функция времен релаксации [13].

Аналитическую форму спектра релаксации  $\bar{H}_{\varepsilon \bar{t}}$  можно найти по известной формуле [14]

$$\int_0^\infty \bar{H}_{\varepsilon \bar{t}} \cdot e^{-tx} \cdot dx = \frac{d\varphi_{\varepsilon t}}{dt} = r_{\varepsilon t}, \quad (6)$$

путем последовательных приближений.

Формула (6) представляет собой преобразование Лапласа, в котором спектр релаксации  $\bar{H}_{\varepsilon \bar{t}}$  играет роль оригинала, а ядро релаксации  $r_{\varepsilon t}$  - роль изображения в терминах операционного исчисления. Данная зависимость (6) получается на основе рассмотрения свойств обобщённой модели Максвелла [15].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### Список литературы

1. Макаров А.Г., Слущер Г.Я., Дроботун Н.В., Васильева В.В. Анализ диаграмм растяжения ориентированных волокон полипропилена // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2014. Т. 26. № 4. С. 57-63.

2. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на основе применения интегральных критериев достоверности математического моделирования вязкоупругости на стадии их проектирования и организации производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 3(381). С. 242-247.
3. Макаров А.Г., Егоров И.М. Математическое моделирование вязкоупругих процессов морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 4. С. 23-32.
4. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен и его применение для оценки их функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 2(380). С. 192-198.
5. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Моделирование релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основа анализа их эксплуатационных свойств // Химические волокна. 2018. № 2. С. 36-39.
6. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Чистякова Е.С., Вагнер В.И. Варианты компьютерного прогнозирования деформационных процессов технического текстиля // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2018. № 1(34). С. 109-119.
7. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных материалов из них // Химические волокна. 2016. № 1. С. 37.
8. Макаров А.Г., Шванкин А.М. Математическое моделирование деформационных процессов арамидных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2016. № 1. С. 10-14.
9. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных материалов при переменной температуре // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 38-48.
10. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.
11. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости материалов кожевенно-обувной промышленности // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 37-38.
12. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Математическое моделирование и расчетное прогнозирование вязкоупругости геотекстильных нетканых полотен - средство оценки их функционально-эксплуатационного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4(382). С. 229-234.
13. Демидов А.В., Гребёнкин А.Н., Иванов К.Г., Переборова Н.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, применяемых в швейной, обувной и текстильной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2011. № 5(20). С. 19-21.

14. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Системный анализ термовязкоупругости текстильных материалов // Текстильная промышленность. 2006. № 1-2. С. 55-57.

15. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности // Текстильная промышленность. 2006. № 8. С. 14-16.

**Е. А. Перфильева, В. В. Марценюк**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ И ИЗБЫТКА ОТВЕРДИТЕЛЯ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО**

Широко известно применение ультразвуковой (УЗ) обработки в технологии полимерных композиционных материалов. УЗ обработка используется для диспергирования дисперсных наполнителей в олигомерном связующем. При этом существуют различные приемы введения и диспергирования, которые включают либо предварительное диспергирование наполнителя в растворителе, либо диспергирование наполнителя непосредственно в связующем или в отвердителе, который имеет меньшую вязкость по отношению в связующему. Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. В данной работе исследовано влияние УЗ обработки на кинетику отверждения эпоксидного связующего. Выдвинуто предположение, что в процессе УЗ обработки разрушается часть эпоксидных групп связующего, что приводит к изменению фактического соотношения между связующим и отвердителем.

В качестве объектов исследования использовали эпоксидную смолу марки 828KER и отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА). Отверждали при соотношении смолы к отвердителю 10к1 по массе. Для проверки предположения использовали избыток отвердителя в соотношениях 10к1,5 и 10к2. Кинетику отверждения характеризовали через изменение температуры (нагрев) во времени.

При стехиометрическом соотношении эпоксидного связующего к отвердителю как 10к1 экзотермический пик отверждения происходит при 102°С (76 мин). При избытке отвердителя в количествах 1,5 и 2 частей, по отношению к 10 частям эпоксидного связующего, экзотермический пик происходит при 158 и 172°С (37 и 30 мин) соответственно. Возвращаясь к стехиометрическому соотношению (10к1), но проводя УЗ обработку также наблюдается повышение температуры пика отверждения до 120°С (57 мин), по сравнению с отверждением без предварительной УЗ обработки связующего 102°С (76 мин). Если представить соотношение связующего и отвердителя в виде десятичной дроби, то соотношение 10к1 равно 10, 10к1,5 равно 6,67 и 10к2 равно 5, и данные десятичные дроби соответствуют максимальной температуре отверждения: 102, 158 и 172°С. Тогда по пропорции, соотношение между связующим и отвердителем после УЗ обработки становится не 10к1, а 10к1,12 (120°С), что косвенно говорит о разрушении некоторого количества эпоксидных групп в связующем в результате УЗ обработки.

Интересным является исследование одновременного влияния УЗ обработки и избытка отвердителя на отверждение (пик температуры и продолжительность) эпоксидного связующего. В этом случае, при избытке отвердителя в соотношении 10к1,5 и 10к2, и при предварительном воздействии УЗ на олигомерное связующее,

экзотермический пик температуры отверждения составил 175 и 161°C (17 и 15 мин) соответственно. Если по температуре однозначного вывода сделать нельзя, то продолжительность, при которой достигается экзотермический пик отверждения, сокращается приблизительно в два раза: в среднем 34 мин без УЗ обработки и 16 мин при УЗ обработки с избытком отвердителя в обоих случаях. Таким образом, с одной стороны избыток отвердителя по отношению к связующему приводит к ускорению отверждения, а УЗ обработка также ускоряет отверждение предположительно за счет частичного разрушения некоторого количества эпоксидных групп и смещения соотношения эпоксидных групп к ПЭПА.

**Д. В. Пушкарь, И. В. Елохин, А. П. Михайловская**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА В ТЕРЕФТАЛЕВУЮ КИСЛОТУ**

Терефталевая кислота (ТФК) является промышленно важным органическим соединением, поскольку используется в качестве основного мономера в производстве таких полимеров как полиэтилентерефталат (ПЭТ), полибутилентерефталат, полиоксадиазол, полибензимидазол. К мировым лидерам по синтезу ТФК относятся китайские компании, в России крупнейшим производителем является ПАО «СИБУР Холдинг». Основным сырьем для получения ТФК считается продукт нефтепереработки – *n*-ксилол. В процессе жидкофазного каталитического окисления на первой стадии *n*-ксилол в уксуснокислой среде превращается преимущественно через *n*-толуиловый альдегид в *n*-толуиловую кислоту. При дальнейшем окислении *n*-толуиловой кислоты образуются ТФК и 4-карбоксибензальдегид. Большинство исследований в этой области связаны с подбором окислителей, катализаторов и промоторов с целью снижения концентрации побочных продуктов. Однако, полностью исключить образование 4-карбоксибензоальдегида и *n*-толуиловой кислоты невозможно.

Одним из перспективных способов получения ТФК является деполимеризация отходов ПЭТ с помощью кислотного (например, в нитрирующей атмосфере) или щелочного (например, в среде флотореагента-оксаля Т-92) гидролиза. Объектами исследований, как правило, является ПЭТ в виде гранул, порошка или бутылочного пластика. Полиэфирные (ПЭ) волокнистые материалы в этих процессах остаются неизученными. На кафедре химических технологий имени проф. А. А. Хархарова СПГУПТД в качестве сырья для получения ТФК рассматривают отходы изделий из ПЭ волокна, которые накапливаются на текстильных предприятиях, выпускающих спецодежду, интерьерные ткани, наполнители для теплой одежды, подушек и мягких игрушек. Для эффективности щелочного гидролиза ПЭ волокна в водной среде предлагается использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ) определенной структуры (Заявка на изобретение 2025117485 от 24.06.2025). Цель настоящей работы – определение концентрации азотсодержащего ПАВ в процессе гидролитического разложения ПЭ волокна водным раствором гидроксида натрия.

В ходе эксперимента промышленные образцы из ПЭ волокна (окрашенные ткань и трикотаж, синтепон, нетканое полотно) подвергали щелочному гидролизу на лабораторном реакторе, снабженном мешалкой и обратным холодильником.

Реакционную смесь из измельченного волокнистого материала (0,5-1,0 см), водных растворов ПАВ (галоидид триметилалкиламмония) концентрацией 0-30 г/л и гидроксида натрия выдерживали при 130-150 °С при постоянном перемешивании в течение 60 мин. По окончании процесса ТФК осаждали через терефталат натрия. Идентификацию продукта реакции проводили методами ИК спектроскопии, ДСК и объёмно-метрического титрования. Для каждого опыта рассчитывали основные количественные характеристики процесса: степень конверсии ПЭТ и выход ТФК.

Полученные результаты показали, что для получения ТФК из отходов ПЭ волокнистых материалов гидролизом в водном растворе щелочи целесообразно использовать эквимольное соотношение гидроксид-анионов и азотосодержащего ПАВ. Катион аммония с жирным радикалом играет роль переносчика гидроксид-аниона к поверхности гидрофобного полимера и способствует расщеплению алкил-кислородной связи полиэфира при осуществлении механизма реакции бимолекулярного нуклеофильного замещения.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ, НАПОЛНЕННЫЕ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

В современном мире наблюдается стремительный рост потребности в материалах с заданными функциональными свойствами, что обусловлено развитием наукоемких отраслей промышленности, таких как электроника, энергетика, авиакосмическая техника и биомедицина. В этом контексте особое внимание уделяется разработке и исследованию электропроводящих полимерных композиционных материалов, представляющих собой перспективный класс материалов, сочетающих в себе технологичность полимерной матрицы и уникальные свойства электропроводящих наполнителей.

При получении подобных композитов в качестве связующего использовалась эпоксидная смола марки 828 кер, в качестве электропроводящих наполнителей использовали технический углерод (ТУ) различных марок, а также резаные углеродные волокна (РУВ) марки Урал. Предварительно было исследовано удельное электрическое сопротивление наполнителей с помощью модифицированного четырехзондового метода ван дер Пау. Выявлено, что удельное электрическое сопротивление ТУ П-701 составляет 270 Ом·см, ТУ П805 – 420 Ом·см, ТУ П-324 - 450 Ом·см, ТУ П-705 - 275 Ом·см и РУВ 0,001 Ом·см.

Далее получали композиты с различным содержанием наполнителя ТУ (1 – 30% масс.), РУВ (0,4 – 15% масс.) и образцы с двумя наполнителями РУВ + ТУ (РУВ 10% и ТУ 5%, РУВ 10% и ТУ 10%, РУВ 10% и ТУ 20%). Наполнитель распределяли в объеме связующего посредством механического перемешивания. Для отверждения использовали полиэтиленполиамин.

На полученных образцах определяли удельное электрическое сопротивление поперек плоскости композита.

Выявлено, что во всем диапазоне концентраций ТУ (1 – 30% масс.) в эпоксидной смоле не удалось определить электропроводность образцов (вне чувствительности

прибора). Введение РУВ позволило получить электропроводящие композиты, обнаружено, что увеличение концентрации РУВ в композиционных материалах сопровождается снижением их удельного электросопротивления, а именно: с 47,9 кОм/см при степени наполнения 0,4% до 0,007 кОм/см при степени наполнения 15%; введение в эпоксидной смоле РУВ и второго наполнителя (ТУ) позволяет существенно снизить удельное электросопротивление получаемых композитов, именно с 0,02 кОм/см (РУВ 10 %) до 0,001 кОм/см (РУВ 10% + ТУ 20%). Это связано с уплотнением материала, то есть ТУ равномерно заполняет пустоты между РУВ, что позволяет создать единый проводящий мостик, что положительно сказывается на снижении УЭС.

Таким образом, результаты исследований указывают на перспективность получения композиционных материалов, наполненных одновременно РУВ и ТУ.

## **Б. М. Примаченко**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

В настоящее время широкое применение находят полимерные композиционные материалы, армированные углеродными тканями (УТ). Прогнозирование значений параметров структуры армированных полимерных композиционных материалов (АПКМ) имеет важное значение для улучшения существующих и создания новых АПКМ.

В первой части работы были построены механико-аналитические модели и выполнено прогнозирование параметров структуры УТ, проведены экспериментальные исследования параметров. В результате прогнозирования и экспериментальных исследований были определены основные параметры: толщина, поверхностная и объёмная пористость, масса образцов, поверхностная и объёмная плотность. Сравнение прогнозируемых и экспериментальных значений показало достаточно хорошее совпадение. Относительная разность не превосходит 20 %, для большинства параметров прогнозируемые значения находятся в интервалах доверительных погрешностей их оценки.

Во второй части работы выполнены экспериментальные исследования параметров структуры полимерного компонента (ПК) на основе эпоксидно-диановой смолы. Отличительными особенностями этого ПК при формовании АПКМ являются достаточно низкая вязкость, которая позволяет расплаву растекаться равномерно по всей поверхности УТ, проникая во все сквозные и объёмные поры структуры, и высокая адгезионная прочность к углеродным нитям после отверждения ПК. Изготовлены образцы ПК с сопряжёнными параметрами строения к образцам УТ. Строение образцов ПК рассчитывалась с учетом ГОСТ 29104.4-91 и ГОСТ 32656-2014. Проведены экспериментальные исследования параметров структуры ПК, выработанных из двух различных партий смолы и отвердителя. В результате экспериментальных исследований были определены следующие параметры: масса, толщина, площадь, объём, поверхностная и объёмная плотность.

Различные свойства элементов конструкций, выполненных из АПКМ, существенным образом зависят от структуры материала. Основными параметрами

структуры АПКМ, используемыми при проведении расчетов, являются масса, толщина, поверхностная и объёмная плотность. Оценки массы, длины, ширины и толщины образцов первой партии АПКМ определялись средним значением из 14 измерений и с доверительными границами погрешности, соответственно, равняются  $(36.43 \pm 0.50)$  г,  $(395.4 \pm 3.4)$  мм,  $(25.66 \pm 0.05)$  мм и  $(2.914 \pm 0.085)$  мм. После выполнения расчётов оценки площади, объёма, поверхностной и объёмной плотности с доверительными границами погрешности -  $(0.010147 \pm 0.000088)$  м<sup>2</sup>,  $(29.569 \pm 0.868)$  см<sup>3</sup>,  $(3590 \pm 56)$  г/м<sup>2</sup> и  $(1.232 \pm 0,040)$  г/см<sup>3</sup>. Оценка массы, длины, ширины и толщины образцов АПКМ, выработанных из смолы и отвердителя второй партии, определялась точно так же как для образцов, выработанных из смолы и отвердителя первой партии. Оценка массы, длины, ширины и толщины образцов, равняются  $(31.26 \pm 0.91)$  г,  $(339.8 \pm 0.9)$  мм,  $(25.54 \pm 0.04)$  мм и  $(3.217 \pm 0.077)$  мм. После выполнения расчётов оценки площади, объёма, поверхностной и объёмной плотности -  $(0.008678 \pm 0.000027)$  м<sup>2</sup>,  $(27.917 \pm 0.673)$  см<sup>3</sup>,  $(3602.3 \pm 105.0)$  г/м<sup>2</sup> и  $(1.120 \pm 0,040)$  г/см<sup>3</sup>.

Объединение полученных результатов прогнозирования параметров УТ с экспериментальными значениями параметров ПК позволило получить прогнозируемое значение основных параметров структуры АПКМ. Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что относительная разность между спрогнозированными и экспериментальными значениями параметров структуры АПКМ не превосходит 10 %. Полученная правильность спрогнозированных значений допускает использование разработанной методики для определения параметров структуры АПКМ.

### **М. З. Рустамова<sup>1</sup>, Л. П. Мясникова<sup>2</sup>, Е. С. Цобкалло<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

<sup>2</sup>Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ НИТИ ИЗ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ОТ ШАГА СКРУТКИ**

Получение высокопрочных и высокомодульных полимеров до сих пор остается крайне актуальным в связи с возрастающими требованиями к механическим свойствам материалов, используемых в различных областях промышленности, в том числе для изделий спецназначения. В связи с этим идет поиск и методы получения все более высокопрочных и высокомодульных полимеров. Получение волокон и нитей с высокими характеристиками механических свойств на основе полиэтилена не перестаёт быть одной из важнейших задач, таких как нити и волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Нити и волокна на основе СВМПЭ получают в основном по технологии гель-формования. Длинные линейные макромолекулы, приобретают почти совершенную параллельную ориентацию молекул, уровень параллельности ориентации полимерных цепей может превышать 95%, степень кристалличности до 85%. Высокопрочные высокомодульные полиэтиленовые волокна имеют, как и большинство химических волокон, фибриллярную структуру. Несмотря на высокую прочность поверхность СВМПЭ очень гладкая, имеет низкое трение

поверхности. СВМПЭ волокна состоят из множества ультра-ориентированных и очень гладких элементарных волокон, поэтому в пучке (комплексной нити) они легко могут скользить друг относительно друга. Одним из технологических способов повышения прочности комплексных нитей СВМПЭ является скрутка пучка элементарных нитей. Без скрутки прочность в пучке (комплексной нити), а также высокая прочность отдельных элементарных нитей не в полной мере будет реализована

При скрутке элементарные нити прижимаются друг к другу, увеличивая силу трения и механическое зацепление. Скрученное волокно лучше поглощает и распределяет локальные нагрузки и микрповреждения. Если в нескрученном волокне одно поврежденное волокно может привести к резкому обрыву, то в скрученном нагрузка перераспределяется на соседние волокна и волокно становится более устойчивым к циклическим нагрузкам и износу.

Скрутка значительно повышает стойкость волокна к абразивному износу и многократным изгибам. Правильно подобранный шаг скрутки обеспечивает равновесную структуру, в которой волокно не раскручивается самопроизвольно и не закручивается сильнее при нагружении.

Показано, что от шага скрутки зависимость прочности скрученного волокна СВМПЭ имеет нелинейный характер: слишком малый и слишком большой шаг скрутки приводят к снижению прочности. Поэтому поиск оптимального шага скрутки, при котором прочность нити будет максимальной является важнейшей технологической задачей при производстве нитей этого типа. Оптимальным шагом скрутки может считаться такой, при котором прочность скрученного волокна достигает 80-95% от теоретической прочности исходных волокон (в зависимости от качества волокна и технологии скрутки).

**С. В. Киселев**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Классические методы прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов основаны на численном решении интегральных определяющих уравнений вязкоупругости полимеров типа Больцмана-Вольтерра, которые не учитывают поправки на необратимость пластической компоненты деформации и, в силу этого, могут приводить к значительным погрешностям прогноза [1].

Для повышения точности прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов предлагается введение физически обоснованной поправки на учет необратимости пластической компоненты деформации [2].

Введение указанной поправки существенно повышает надежность и достоверность прогнозирования функционально-эксплуатационных свойств полимерных материалов [3].

Проблемой, понижающей точность прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов на основе интегральных соотношений Больцмана-Вольтерра, является то, что они были разработаны применительно к процессам, характеризующимися полной обратимостью, чего нельзя сказать про деформационные процессы полимерных текстильных материалов ввиду наличия у них пластической составляющей деформации, которая не является обратимой [4].

Поэтому для повышения надежности, достоверности и точности прогнозирования деформационных процессов факт наличия у полимерных текстильных материалов необратимой пластической компоненты деформации необходимо учитывать в первую очередь [5].

Основными деформационными процессами полимерных текстильных материалов, определяющими их функциональность, являются релаксационный процесс и процесс ползучести, прогнозирование которых можно осуществлять на основе определяющих интегральных уравнений типа Больцмана-Вольтерра, которые в случае релаксации имеет вид [6]:

$$\sigma_t = E_0 \cdot \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_{t-s} \cdot \frac{\partial \varphi_{\varepsilon s}}{\partial s} \cdot ds, \quad (1)$$

где

$\varepsilon_t$  - деформация, меняющаяся во времени  $t$ ,

$\sigma_t$  - напряжение, меняющееся во времени  $t$ ,

$E_0$  - модуль упругости,

$E_\infty$  - модуль вязкоупругости,

$\varphi_{\varepsilon t} \in (0;1)$  - релаксационная функция, составляющая основу интегрального

релаксационного ядра  $\frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial t}$ .

В случае прогнозирования деформационного процесса интегральное определяющее уравнение Больцмана-Вольтерра имеет вид [7]

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E_0} \cdot \sigma_t + \left( \frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0} \right) \cdot \int_0^t \sigma_{t-s} \cdot \frac{\partial \varphi_{\sigma s}}{\partial s} \cdot ds \quad (2)$$

где

$\varphi_{\sigma t} \in (0;1)$  - функция запаздывания, составляющая основу интегрального

деформационного ядра  $\frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial t}$ .

Как было сказано выше, в силу наличия пластической компоненты деформации у полимерных текстильных материалов, прогнозирование их деформационных процессов только по уравнениям (1) и (2) не может являться достаточно точным и надежным.

При прогнозировании деформационных процессов полимерных текстильных материалов, там, где не требуется повышенная точность, исследователями может не учитываться пластическая компонента деформации, чтобы существенно не усложнять определяющие интегральные уравнения.

Однако, для повышения точности, достоверности и надежности прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов учет поправок на необратимую компоненту деформации является необходимым [9].

Чтобы решить задачу прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов с учетом поправки на необратимую часть деформации надо

экспериментально определить коэффициент необратимости деформации.

С этой целью можно провести эксперимент по повторному нагружению образца полимерного текстильного материала сразу после завершения деформационного процесса и восстановления материала при разгрузке.

Повторный деформационный процесс, проводимый после разгрузки образца полимерного текстильного материала и его восстановления, в совокупности с первичным деформационным процессом, можно охарактеризовать как сложный двухступенчатый деформационный процесс, представляющий собой суперпозицию двух процессов [13].

По аналогии со сказанным, деформационные процессы могут быть и многоступенчатыми.

При деформационно-восстановительных процессах полимерных материалов значение конечной деформации не становится нулевым ( $\varepsilon_{ост.} \neq 0$ ) именно из-за наличия необратимой компоненты пластической деформации, которую необходимо учитывать в определяющих интегральных уравнениях Больцмана-Вольтерра для наиболее достоверного и надежного прогнозирования этих процессов [9].

Коэффициент необратимости деформации  $\mu$  подлежит экспериментальному определению, как отношение остаточной деформации  $\varepsilon_{ост.}$  к экспериментально достигнутому значению полной деформации  $\varepsilon^*$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{ост.}}{\varepsilon^*}. \quad (3)$$

Соответственно, коэффициент обратимости деформации  $\eta$  равен

$$\eta = 1 - \mu. \quad (4)$$

На основе (3) и (4) получаем формулу для величины остаточной (необратимой) деформации [10]

$$\varepsilon_{ост.} = (1 - \eta) \cdot \varepsilon^*. \quad (5)$$

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### Список литературы

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В., Загородников С.В., Назаров А.В., Дембицкий С.Г., Кирсанова Е.А., Коган А.Г., Левакова Н.М., Мурадян В.Е. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В. Разработка методов повышения качества продукции легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в процесс ее проектирования // Вестник Санкт-Петербургского государственного

университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2018. № 1. С. 85-95.

4. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.

5. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.

6. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.

7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Моделирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 102-109.

8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов в швейных материалах при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 21-27.

9. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Исследование деформационных и вязкоупругих свойств полиэфирных нитей различной крутки с целью уменьшения затрат на их производство // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 14-20.

10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.

**Е. В. Саклакова, П. С. Некрытов, А. В. Анисимов, О. В. Асташкина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ВЭУ)**

Рост мощностей ВЭУ требует создания более длинных, прочных, легких и экологически безопасных лопастей. Это стимулирует развитие новых материалов, производственных процессов и методов утилизации. Для лопастей длиной более 80 - 90 метров все чаще применяются гибридные структуры на основе углеволокна в комбинации со стеклопластиком [1]. Это позволяет значительно увеличить жесткость и прочность при снижении общего веса, что критично для снижения нагрузок на гондолу и башню. Использование термопластичных полимеров, в качестве матрицы – является перспективным направлением. В отличие от традиционных термореактивных смол, термопласты поддаются повторному плавлению. Это решает две основные проблемы:

- скорость производства – сокращение времени цикла литья за счет более быстрой полимеризации;

- рециклинг – отработанные лопасти из термопластов можно переплавить и использовать для производства новых изделий, замыкая жизненный цикл материала.

Для совершенствования производственных процессов и автоматизации применяются новые технологии, например: 3D-печать для быстрого изготовления оснастки, печати сложных элементов, таких как направляющие кромки или системы обогрева; автоматизация и роботизация: роботы-манипуляторы берут на себя трудоемкие операции, это повышает стабильность качества, производительность и безопасность труда; использование систем неразрушающего контроля для выявления внутренних дефектов (расслоений, пустот) на ранних этапах производства [2].

Для борьбы с обледенением в холодном климате в структуру лопасти (обычно в зоне передней кромки) на этапе производства интегрируются нагревательные токопроводящие элементы (из углеродной ткани, токопроводящих полимеров или металлической фольги), которые автоматически включают подогрев. Эти системы потребляют энергию, но обеспечивают надежное таяние и предотвращение наледи [1,2]. Кроме того, используются пассивные (гидрофобные/супергидрофобные) системы на поверхности лопасти – специальные покрытия с низкой энергией поверхности, которые препятствуют сцеплению капель воды и льда с материалом. Это приводит к тому, что лед образуется хуже, а под действием центробежной силы и ветра легко сходит. Это энергонезависимое решение, но не долговечное под действием внешних условий (песок, дождь, УФ излучение) [3]. Комбинация активных и пассивных методов, например, супергидрофобное покрытие для предотвращения начального обледенения и термосистема для удаления устойчивого льда, позволяет снизить энергопотребление, включая нагрев только в самых тяжелых условиях [3, 4].

#### **Список литературы**

1. Liu P., Barlow C.Y. Wind turbine blade waste in 2050 // *Waste Management*. 2017. No. 62. P. 229-240.
2. Mishnaevsky L. Materials for wind turbine blades: An overview // *Materials*. 2017. No. 10(11). P. 1285.
3. Beauson J., Brøndsted P. Recycling of wind turbines. In *Advances in Wind Turbine Blade Global Wind Energy Council (GWEC) // Design and Materials*. 2023. No. 2. P. 349-366.
4. Cortat L., Lüdde K. Automation in rotor blade production: How robots are revolutionizing manufacturing // *Composite World*. 2022. No. 5. P. 214-221.

## **ПОДБОР ТЕМПЛАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА**

Как было рассмотрено ранее [1], одним из способов получения углеродных аэрогелей является темплатный синтез, при котором формирование пор происходит с помощью специальных шаблонов (темплатов), в качестве которых могут выступать вымываемые или выжигаемые вещества, например, поливиниловый спирт, полиолефины и т.д. Соответственно после удаления из структуры на месте темплатов остаются поры. Получение углеродных пен предусматривает в большинстве случаев высокотемпературную обработку (карбонизацию при температуре 800–900 °С), поэтому логичнее использовать выжигаемые вещества. Целью работы являлся подбор наиболее подходящего для получения углеродного пористого материала темплата.

Для получения углеродного материала использовалась феноло-формальдегидная смола СФ-10, в качестве отвердителя – уротропин. Сшивка уротропином фенолоформальдегидной матрицы происходит при температуре 170–180 °С. Следовательно необходим темплат температура плавления которого была бы выше данных значений.

Среди полимеров, температура плавления которых составляет больше 200 °С, можно выделить: полистирол (температура плавления — 210–270 °С), поливиниловый спирт (190–230 °С), полиакрилонитрил (300–320 °С); поливинилхлорид (170–220 °С), политетрафторэтилен (320–350 °С), а также такие термостойкие полимеры как полиэфиркетоны (324–390 °С), полисульфоны (340–400 °С), полиимиды (300–370 °С), ароматические полиамиды (300–550 °С) [2]. Логично, что использовать в качестве темплата необходимо наиболее дешевый полимер, причем не способный карбонизоваться и выгорающий без следа. К таким можно отнести полистирол (ПС), поливиниловый спирт (ПВС) и поливинилхлорид (ПВХ). Однако у ПВХ пограничное значение температуры плавления к требуемой. Поэтому в качестве порообразователя были выбраны два полимера: ПС и ПВС. Причем полистирол для создания более пористой структуры был использован вспенивающийся (при температуре 90–100 °С). Гранулы темплатов добавлялись к сухому премиксу, состоящему из СФ-10 и уротопина, в количестве 5, 10, 15 и 20 % (масс.). Формование материала проводилось в форме при ступенчатой термообработке: первая — нагрев и выдержка при температуре 180 °С для получения дисперснонаполненного композита с отвержденной фенолоформальдегидной матрицей. Вторая — карбонизация в инертной среде при температуре 900 °С для выжигания темплата и формирования углеродной матрицы.

В результате работы получились образцы углеродных материалов, содержащих закрытопористую структуру (пористость в зависимости от степени наполнения композита составила 65,9–85,9 %) с кажущейся плотностью 0,150–0,200 г/см<sup>3</sup>.

## Список литературы

1. Лукичева Н.С., Асташкина О.В., Сейталиева Д.Г. О подходах к формированию углеродных пен и аэрогелей // Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы: материалы XV всероссийской научной и студенческой конференции с международным участием имени профессора А. А. Лысенко. Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. С. 47-49.

2. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с.

## Д. Е. Христофоров, А. Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПАУНДЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОДОРАЗРУШАЕМЫХ ПРЕФОРМ ПОД НАМОТКУ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Перспективным мировым трендом в развитии техники и технологий является замена традиционных металлических сплавов на полимерные композиционные материалы (КМ), которые активно внедряются в самых разных отраслях промышленности.

Одним из базовых методов получения КМ является метод мокрой или сухой намотки на формообразующую оправку (преформу). Этим способом изготавливают как цилиндрические материалы (трубы, цистерны, трансформаторные катушки, кольца статорных обмоток турбогенераторов), так и изделия более сложной формы, например, детали ракетных двигателей, корпуса аэрокосмических аппаратов, антенно-фидерные устройства, а также баллоны высокого давления.

Однако при производстве изделий со сложной геометрией возникает проблема извлечения оправки из готового композита, из-за чего её часто оставляют внутри в качестве дополнительного внутреннего слоя. Решением этой проблемы может стать создание разрушаемых оправок, извлекаемых из сформованного композита путем вымывания горячей водой.

В ранее осуществленных нами работах (по инициативе ЦНИИ КМ «Прометей») были подобраны составы полимерных компаундов, позволяющие получать водорастворимые композиты, пригодные для применения в качестве вымываемых преформ для намотки непрерывно-наполненных КМ (углепластиков, стеклопластиков, органопластиков), ввиду их соответствия необходимым для данной технологии требованиям: прочности на сжатие (выше чем контактное давление формования при намотке), скорости растворения (позволяющей за непродолжительное время извлечь преформу из отвержденного изделия), термостойкости (позволяющей отверждать намотанный КМ горячим способом) и другим. Такими составами стали смеси поливинилового спирта (ПВС) со строительным песком в различных пропорциях, но не менее 95 масс.% песка на не более 5 масс.% ПВС. Концентрация водного раствора поливинилового спирта составляла не менее 14 масс.%.

Апробация использования разработанных компаундов для получения крупных оправок, соответствующих размерам реальных композитных изделий, в частности баллонов, показала их недостатки, негативно влияющие на технологический процесс изготовления преформы. К таким относятся: текучесть смесей, чрезмерно высокая

вязкость (в некоторых случаях), большое количество воды, вскипающей при отверждении компаунда и нарушающей геометрию будущей оправки. Для устранения данных недостатков была подобрана специальная наноструктурная добавка, поглощающая избыток влаги в материале, вследствие чего компаунд приобретает сыпучесть, поддается пневмотрамбовке и отверждается без вспенивания, что позволяет при помощи горячего отверждения получить однородный материал с плотной упаковкой частиц и заданной геометрией. Такой добавкой является аморфный углерод. В процессе испытания образцов углерод-полимер-песчаных материалов было также отмечено, что введение специальной добавки увеличивает скорость растворения (вымывания) материала более чем в 4 раза по сравнению с полимер-песчаным предшественником.

В настоящее время производится апробация использования углерод-полимер-песчаного компаунда в качестве оправки для намотки композитных сосудов.

**Е. В. Саклакова, Е. А. Гурьянова, А. А. Безруков**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **СВОЙСТВА И МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ГРАФЕНОВ**

Уникальные свойства чистого (природного) графена: высокая подвижность носителей заряда  $> 2 \cdot 10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}$ . Высокая механическая прочность на разрыв ( $\sim 130$  ГПа) и жесткостью (модуль Юнга  $\sim 1$  ТПа), что делает их одним из самых прочных известных материалов. Высокая теплопроводность –  $5000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  превосходит большинство известных материалов. Графен поглощает  $\sim 2,3 \%$  белого света на каждый слой, сочетая прозрачность с высокой электропроводностью. Несмотря на выдающиеся свойства, чистый графен имеет ряд ограничений для практического применения: химическая инертность и склонность к агрегации и повторному слипанию в графит из-за сильных  $\pi$ - $\pi$  взаимодействий; нерастворимость в большинстве распространенных растворителей, что осложняет его обработку и диспергирование.

Для преодоления этих трудностей, применяют модифицирование графена, которое можно разделить на: – *ковалентную функционализацию*, за счет образования прочных ковалентных связей между атомами углерода в графене и функциональными группами. Она может быть достигнута окислением с получением оксида графена (GO) с помощью обработки сильными окислителями, это приводит к внедрению карбонильных, гидроксильных и эпоксидных групп. GO легко диспергируется в воде, но имеет низкую электропроводность. Восстановление оксида графена может быть, как химическое, так и термическое, приводит к частичному увеличению электропроводности, но сохраняет некоторые дефекты. Реакции с участием радикалов, например, реакция с диазониевыми солями, позволяющая присоединять различные ароматические группы. Галогенирование, гидрирование (получение графана), циклизация (например, с бензолом), в результате чего происходит кардинальное изменение электронных свойств, повышение растворимости и диспергируемости, введение новых активных центров для дальнейших реакций.

– *нековалентную функционализацию*, по средствам взаимодействия функциональных агентов с поверхностью графена за счет ван-дер-ваальсовых сил,  $\pi$ - $\pi$  взаимодействий, электростатических и водородных связей без нарушения  $sp^2$ -гибридизованной решетки. Проводят обработкой ПАВ, адсорбцией ароматических

соединений и др., в результате чего происходит сохранение электронной структуры и высокой проводимости графена, и позволяет получить стабилизированные дисперсии, за счет улучшения совместимости графена с композитными матрицами.

– *допирование* (гетероатомное) – введение в графеновую решетку атомов других элементов для придания новых свойств.

– *создание гибридных структур* и композитов графена с другими наноматериалами (наночастицы металлов, оксидов, полимеры, другие 2D-материалы) для синергетического эффекта.

Модификация графена является ключевым инструментом преодоления его природных ограничений и адаптации свойств под определенные задачи. Выбор стратегии модификации определяется целевыми свойствами: ковалентная модификация позволяет кардинально изменить химию материала, в то время как нековалентная сохраняет его уникальную электронную структуру.

### Список литературы

1. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene // Nature Materials. 2007. No. 6 (3). P. 183–191.
2. Dreyer D.R., Park S., Bielawski C.W., Ruoff R.S. The chemistry of graphene oxide // Chemical Society Reviews. 2010. No. 39 (1). P. 228–240.

**Е. П. Ширшова, Н. В. Дианкина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Углеродные композиционные материалы (УКМ), изначально созданные для аэрокосмической отрасли и машиностроения, сегодня находят применение в различных областях использования. Уникальная долговечность УКМ, изначально заложенная в их свойствах, приводит к образованию практически "вечных" отходов, создающих комплекс экологических проблем после выхода изделий из строя. Классические методы утилизации – механический, химический, термический и биологический – малоэффективны. При правильной переработке УКМ можно сохранить ценный углеродный армирующий каркас в виде волокон, тканей или нетканых материалов.

Наши исследования пиролиза показали, что на поверхности вторичных углеродных материалов сохраняется коксовый остаток – продукт деструкции полимерной матрицы. Этот остаток, химически связанный с поверхностью волокна, традиционно считается загрязнением. Однако его удаление сложно и нерационально, поскольку кокс состоит преимущественно из углерода и может увеличивать площадь контакта с новыми связующими.

Перспективным направлением использования регенерированных УКМ является создание антифрикционных материалов. Еще в 1980-е годы ЦНИИ КМ «Прометей» разработал успешные образцы углепластиков для машиностроения. Современные антифрикционные материалы представлены изделиями различной конфигурации, покрытиями и смазочными композициями на основе металлов, графитов, фторопластов и полиамидов.

Особый интерес представляют полимерные антифрикционные материалы на основе эпоксидных связующих, которые образуют трехмерную сетку с низким коэффициентом трения. Такие композиты характеризуются высокой ударопрочностью, термо- и износостойкостью. Эпоксидные смолы обеспечивают химическую, влаго- и коррозионную стойкость, сохраняя стабильность в широком диапазоне условий эксплуатации [1, 2].

Мы предлагаем использовать углеродное волокно, загрязненное коксовым остатком для создания антифрикционных композитов на основе эпоксидной матрицы. Предварительные исследования показали, что такое волокнистое сырье повышает прочностные и ударные характеристики эпоксидных композитов в 2 - 3 раза даже при низких степенях наполнения (до 5 %). Этот подход позволяет не только решить проблему утилизации УКМ, но и создать эффективные материалы с использованием вторичных ресурсов.

***Руководитель: проф. кафедры НВКМ Анисимов А. В.***

#### **Список литературы**

1. Валеева А.Р., Готлиб Е.М., Ямалеева Е.С. Эпоксидные антифрикционные покрытия, наполненные обработанной поверхностно-активными веществами золой рисовой шелухи // Вестник науки ТГУ. 2021. № 3. С. 28-36.
2. Паламарчук А.А., Панов Ю.Т. Полимерные антифрикционные материалы на основе эпоксидной смолы: их свойства и применение // JARiTS. 2023. Issue 37. С. 77-80.

**Е. Д. Коробова, Н. В. Дашенко**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФТАЛОЦИАНИНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТА САМООЧИЩЕНИЯ**

Разработка технологий получения самоочищающихся материалов, в основе которых лежит механизм фотокаталитических процессов, является актуальной задачей химической технологии в последние годы, поскольку этим вопросам уделяется пристальное внимание в разных странах мира применительно к материалам различного назначения. В области текстильной промышленности основная задача в настоящее время – получение самоочищающихся текстильных материалов на основе полупроводниковых фотокатализаторов, отличающихся приемлемой стоимостью, инертностью, нетоксичностью по отношению к человеку и окружающей среде. В случае использования таких фотокатализаторов эффект самоочищения связан с протеканием на поверхности окислительно-восстановительных реакций, приводящих к разложению присутствующих органических загрязнений до простейших неорганических соединений, таких как вода, оксиды углерода, азота и т.п. Для инициирования фотокаталитических процессов необходим ультрафиолет. Однако, эффективность таких фотокатализаторов невысока, что связано с размерами частиц фотокатализаторов,

поглощением преимущественно в УФ-области и всего 5 % солнечного спектра, шириной запрещенной зоны порядка 3,2 эВ и электрон-дырочной рекомбинацией. Для повышения эффективности поглощения в видимой области спектра и эффективности фотокатализатора возможно применение фотосенсибилизирующих соединений на основе фталоцианина меди, являющихся аналогами порфиринов и металлопорфиринов. Фталоцианин меди является основой различных промышленно выпускаемых органических красителей класса прямых, активных и пигментов, в то время как порфириновые соединения сложны и затратны в синтезе, что ограничивает их практическое применение в текстильной промышленности.

В настоящей работе фталоцианиновый активный краситель был использован в качестве фотосенсибилизатора для повышения эффективности фотокаталитических процессов катализатора на основе наноразмерного диоксида титана, поскольку фталоцианин меди обладает хорошей химической и термической стабильностью, стабильным триплетным возбужденным состоянием, низкой токсичностью и способен участвовать в фотокаталитических процессах разрушения таких опасных соединений, таких как хлорфенолы. Фотокатализатор на основе наноразмерного диоксида титана наносили на хлопко-полиэфирные текстильные материалы в форме золя в различных процессах заключительной отделки, затем на ткани наносили фотосенсибилизатор на основе красителя Reactive blue 21 в процессе периодического крашения. Эффект самоочищения оценивали по эффективности разложения модельного органического красителя Родамин В ксантенового ряда. Результаты проведенных исследований показали, что применение фотосенсибилизатора на основе фталоцианина меди увеличивает эффективность разложения модельного красителя Родамин В на 20 – 50% в зависимости от способа нанесения фотокатализатора на основе наноразмерного титансодержащего золя, таким образом повышая эффективность самоочищения поверхности текстильного материала.

**Е. В. Саклакова, А. А. Безруков, О. И. Гладунова, О. В. Асташкина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

## **ЭПОКСИДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ГРАФЕНОМ**

Графен – двумерная аллотропная модификация углерода – обладающая уникальным сочетанием свойств: исключительной механической прочностью, высокой теплопроводностью и выдающейся электропроводностью. Эти свойства делают его идеальным наполнителем для создания высокоэффективных полимерных композитов на основе эпоксидной смолы [1]. Введение даже малых количеств графена (до 1 мас. %) приводит к значительному увеличению прочности на растяжение, модуля упругости и ударной вязкости. Эффект объясняется образованием развитой графен-полимерной межфазной границы, механическим сцеплением и механизмом "перераспределения нагрузки" нанокристаллов графена при нагружении [2]. Графен эффективно создает в полимерной матрице проводящие пути для тепла. Это позволяет в 3-5 раз увеличить

теплопроводность композита, что критически важно для материалов в микроэлектронике (теплоотводящие подложки, термоинтерфейсы) [3].

Эпоксидная смола является диэлектриком. Диспергирование графена приводит к возникновению электропроводности по механизму перколяции при достижении пороговой концентрации ( $\sim 0,1 - 1$  мас. %), превращая материал в электропроводящий композит для применения в антистатических покрытиях, экранировании от электромагнитных помех и сенсорах [4].

Высокая удельная поверхность графена и Ван-дер-Ваальсовы силы взаимодействия между слоями приводят к его агломерации в полимерной матрице, что может снижать физико-механические показатели композита, так как агломераты выступают в роли концентраторов напряжений [1, 2]. Химическое присоединение функциональных групп (например, карбоксильных или гидроксильных) к поверхности графена, через процессы окисления, использование поверхностно-активных веществ, которые адсорбируются на поверхности графена за счет  $\pi$ - $\pi$  взаимодействий, предотвращая его слипание без нарушения  $sp^2$ -гибридизированной структуры и, следовательно, без ухудшения электрофизических свойств, улучшает смачиваемость и химическое сродство с эпоксидной матрицей [1, 2, 5]. Для улучшения диспергируемости может применяться ультразвуковая обработка, каландрирование и высокоскоростное перемешивание для разрушения агломератов [3].

Кроме придания новых свойств, наночастицы графена могут оказывать комплексное влияние на кинетику отверждения эпоксидной смолы. Они могут выступать как катализатор, ускоряя процесс, или как ингибитор, адсорбируя компоненты отвердителя на своей поверхности. Кроме того, они могут служить точками нуклеации, влияя на морфологию и плотность сшитой полимерной сетки [5].

### Список литературы

1. Potts J.R., Dreyer D.R. Graphene-based polymer nanocomposites // *Polymer*. 2011. No. 52(1). P. 5-25.
2. Rafiee M.A., Rafiee J., Wang Z. Enhanced mechanical properties of nanocomposites at low graphene content // *ACS Nano*. 2009. No. 3(12). P. 3884-3890.
3. Shahil K.M., Balandin A.A. Thermal properties of graphene and multilayer graphene: Applications in thermal interface materials // *Solid State Communications*. 2012. No. 152(15). P. 1331-1340.
4. Liang J., Wang Y., Huang Y. Electromagnetic interference shielding of graphene/epoxy composites // *Carbon*. 2009. No. 47(3). P. 922-925.
5. Wang X., Jin J., Song M. An investigation of the mechanism of graphene toughening epoxy // *Carbon*. 2013. No. 65. P. 324-333.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Всестороннее исследование деформационных свойств полимерных текстильных материалов и их прогнозирование возможно только на основе системного анализа его вязкоупругих свойств, включающего в себя: экспериментальные исследования; построение математической модели вязкоупругости, наиболее адекватно отражающей деформационные свойства текстильного материала; определение вязкоупругих параметров текстильного материала; моделирование деформационных процессов [1].

Внедрению разработанных методик системного анализа вязкоупругости текстильных материалов способствует компьютеризация расчетов [2].

Современная деятельность человека не обходится без полимерных текстильных материалов. Полимерные текстильные материалы встречаются повсюду: от нашей одежды до оболочки космических аппаратов и подводных лодок [3].

Интерес к полимерам не случаен. Современная наука создала, а промышленность выпускает синтетические материалы, обладающие необходимыми свойствами. Так, например, полимеры, превосходящие по прочности металлы, применяются в качестве деталей машин, подвергающихся усиленным нагрузкам и механическим воздействиям [4].

Термостойкие полимеры применяются в областях высоких или низких температур. Примером тому может служить обшивка космического корабля, испытывающая как низкотемпературные воздействия окружающей среды в космическом пространстве, так и воздействие высокой температуры во время прохода спускаемого аппарата через атмосферу [5].

Современному обществу требуется большое разнообразие материалов, обладающих множеством различных свойств. Для одних целей нужны водонепроницаемые материалы, для других гигроскопические и т.д.

Важными механическими характеристиками полимерных текстильных материалов являются его упругие и деформационные свойства, определяющие способность материала изменять форму под воздействием нагрузки и восстанавливаться после ее снятия [6].

Для определения механических характеристик необходимо построение математической модели, отражающей физический смысл и концептуальные закономерности механического поведения полимера.

Желательно построение такой математической модели, которая позволяла бы не только с достаточной степенью точности определять механические характеристики полимера, но и была бы наиболее простой из возможных вариантов, а также включала минимум физически обоснованных параметров.

Естественное желание упрощения модели, при прочих равных условиях, диктуется стремлением облегчить процедуры определения механических характеристик полимеров и прогнозирования деформационных процессов [7].

Включение же в модель избыточных параметров, существенно не влияющих на точность прогнозирования, усложняет процедуру получения решения.

Математическая модель механических свойств полимерных текстильных

материалов представляет собой, как правило, систему уравнений относительно определяемых характеристик, связанных дополнительными условиями [8].

Для получения единственного решения системы требуется задание параметров, которыми могут служить данные эксперимента, полученные лабораторным путем.

Например, при рассмотрении деформирования текстильных материалов, к ним относят данные процесса релаксации, характеризующегося переменным значением напряжения в материале при его растяжении на заданную величину деформации, и данные процесса ползучести, характеризующегося изменением деформации при постоянном напряжении.

После составления математической модели, при наличии необходимых экспериментальных данных, переходят к процедуре определения механических характеристик с помощью численных методов [9].

На этом этапе особую актуальность приобретает компьютеризация вычислений, позволяющая уменьшить трудоемкость и повысить точность расчетов. Расчетные значения механических характеристик подлежат проверке путем сравнения с экспериментальными данными. По величине отклонения расчетных значений от экспериментальных данных делается вывод о пригодности математической модели для конкретного полимерного материала.

Следующим шагом является прогнозирование деформационных процессов полимеров на основе определенных ранее механических характеристик. Расчетное прогнозирование позволяет дать рекомендации по применимости полимерных материалов и оказывает влияние на отбор образцов, обладающих необходимыми качествами.

Математическое моделирование механических свойств полимеров полезно сочетать с разработкой критериев достоверности определения механических характеристик и надежности прогнозирования деформационных процессов.

Указанные критерии с целью контроля прогнозирования применяются как на этапе моделирования - для наилучшего составления математической модели, так и на этапе расчета - для определения погрешности прогнозирования [10].

**Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2023-0003.**

### **Список литературы**

1. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 19-26.
2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Федорова С.В., Овсянников Д.А. Прогнозирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 110-116.
3. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В., Загородников С.В., Назаров А.В., Дембицкий С.Г., Кирсанова Е.А., Коган А.Г., Левакова Н.М., Мурадян В.Е. Переборова Н.В., Титов Е.В., Сильченко Е.В. Разработка методов повышения качества продукции легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в процесс ее проектирования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2018. № 1. С. 85-95.
4. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и

функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 1. С. 27-32.

5. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 93-98.

6. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. № 1. С. 154-160.

7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Моделирование вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 102-109.

8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов в швейных материалах при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 21-27.

9. Переборова Н.В., Егорова М.А., Каланчук О.Э., Федорова С.В. Исследование деформационных и вязкоупругих свойств полиэфирных нитей различной крутки с целью уменьшения затрат на их производство // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 14-20.

10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2022. № 2. С. 16-22.

**Э. Б. Цатурян, Л. Р. Дюкина, С. С. Туганов, А. С. Акмалова, В. Е. Проскурина**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

## **МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЙ НАНОКОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕАГЕНТ ДЛЯ БИОПРИМЕНЕНИЙ**

Актуальны исследования, связанные с разработкой и применением магнитных флокулянтов в диагностических методах: магнитнорезонансная томография и биосенсорика, для удаления тяжелых металлов из водных растворов и для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов от мутности. Благодаря своей хорошей биосовместимости, низкой токсичности, антибактериальным и противогрибковым свойствам хитозан занимает уникальное положение в биоматериалах и является единственным положительно заряженным природным полисахаридом. Ключевым преимуществом магнитных наноконкомпозитов является возможность с помощью внешнего магнитного поля направлять и удерживать их в области опухоли, обеспечивая контролируемое высвобождение лекарства при снижении рН в микросреде опухоли. Магнитные наночастицы, функционализированные хитозаном, эффективно связывают белки, ферменты или ДНК, что позволяет быстро выделять их из сложных смесей с помощью простого магнита, упрощая тем самым процессы биосенсинга и диагностики.

В связи с этим, цель работы заключалась в разработке магнитоуправляемого нанокompозита, содержащего наночастицы магнетита и хитозан и количественная оценка его флокулирующего действия при варьировании pH среды в диапазоне от 2 до 11 на дисперсной системе – суспензии голубой глины.

Методом Рене Массарта синтезирован магнитный флокулянт на основе наночастиц магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  размером  $d = 75,9$  нм и хитозана с  $M = 108$  кДа и степенью деацетилирования 90 мол% (“Aldrich”) CAS 9012-6-4. Функционализацию магнетита проводили при оптимальном соотношении полисахарид и магнетита в смеси 5:1. Характеризацию индивидуальных частиц магнетита, хитозана, магнитного флокулянта на их основе осуществляли методом динамического светорассеяния, ИК-спектроскопии и CHN-анализа. По результатам CHN-анализа, в пробе присутствует 45 % хитозана, состав которого близок по составу мономерного звена деацетилированного хитозана  $((\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_4)_n, \%)$ : С 44,72; Н 6,88; N 8,69) с учетом степени деацетилирования. Установлено влияние концентрации магнитного флокулянта на основе магнетита и хитозана и величины pH среды на флокулирующие параметры системы. Отмечено усиление эффективности флокулообразования в суспензии голубой глины с участием магнитного нанокompозита при концентрации  $2 \cdot 10^{-2}$  г/л в сильнощелочной области pH, изоэлектрическая точка отменена при pH = 9,3. При седиментации глины с участием магнитного флокулянта реализуется нейтрализационный механизм флокуляции.

Методом вторичной флокуляции, основанным на поэтапном анализе процесса флокуляции сначала в режиме стесненного, а затем свободного оседания определены адсорбционные параметры магнитного флокулянта (степень адсорбции 0,98). Таким образом, варьируя концентрацию магнитного флокулянта, величину pH среды и силу магнитного поля можно влиять на флокулирующие и адсорбционные параметры системы. Установленные закономерности и эффекты процесса флокуляции в режиме свободного (нестесненного) оседания могут быть применены для направленного регулирования устойчивости суспензий с участием магнитного нанокompозита.

Научное издание

# **ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ О ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**  
Международной научной конференции

Оригинал-макет подготовлен В.Р. Грабской

Подписано в печать 17.11.2025 г. Формат 60×84 1/16.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 5,7 Тираж 500 экз. Заказ 279  
Электронный адрес: [sci\\_conf@mail.ru](mailto:sci_conf@mail.ru)

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»  
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26