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

VII Международной научной конференции

Санкт-Петербург
2026

УДК 678:001.895(063)
ББК 35.71:30.36я43
И66

И66 Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах: тез. докл. 7-й международ. науч. конф. / С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026. – 169 с.

ISBN 978-5-7937-3134-8

Международная научная конференция с 10.11.2026 г. по 11.11.2026 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, профессор
Рожков Н. Н. - д-р техн. наук, профессор
Сашина Е. С. - д-р хим. наук, профессор

Конференция финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

УДК 678:001.895(063)
ББК 35.71:30.36я43

ISBN 978-5-7937-3134-8

©ФГБОУВО СПбГУПТД, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Н. Р. Федюченко, В. А. Липин, О. И. Ширин
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В МЕДНО- И КАДМИЙ-ЭТИЛЕНДИАМИНОВЫХ КОМПЛЕКСАХ 10

А. А. Цветков, Е. С. Сашина
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАСТВОРЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИД – ХЛОРИД ЛИТИЯ 11

Н. С. Лукичева
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ 12

Н. В. Переборова
МЕТОДОЛОГИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕДЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 14

А. Н. Мурашова, Е. В. Кудрявцева, М. В. Лихолетова
ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА СТАБИЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА 16

М. А. Егорова
ВАРИАНТ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРА РЕЛАКСАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 18

Г. И. Легезина
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИИ 21

Д. Е. Христофоров, Е. С. Иванова, А. Ю. Кузнецов
ПРИМЕНЕНИЕ ПЕКОВ В КАЧЕСТВЕ ПРЕКУРСОРОВ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ 22

Г. П. Мещерякова, Е. С. Цобкалло, Т. Б. Кольцова
ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ 23

С. В. Киселев
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 24

Е. А. Шестакова, Е. Н. Дресвянина, О. М. Суворова, Н. Н. Сударева, Е. М. Гордина, Н. Н. Сапрыкина, К. А. Колбе, А. Ю. Гагарина, Д. А. Козодаев
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАНА С НАНОФИБРИЛЛАМИ ХИТИНА 28

А. Ф. Алёхина, А. С. Смирнов, М. Байраммадова, Л. С. Петрова, О. И. Одинцова
МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫЕ ФОРМЫ ВФП ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 29

Е. С. Цобкалло
РАЗРАБОТКА НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ И АНТИСТАТИЧЕСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 30

А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина
ТЕРМОХРОМНЫЕ КРАСИТЕЛИ В ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ 31

Е. С. Коннова, А. А. Безруков, Е. В. Саклакова, О. В. Асташкина
ГИБРИДНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ С ГРАФЕНОМ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ 32

А. А. Козлов
ВАРИАНТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 33

Е. С. Анцева, А. А. Малыгина, О. И. Одинцова
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФИРНОГО МАСЛА ПОЛЫНИ ДЛЯ РЕПЕЛЛЕНТНОЙ ОТДЕЛКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 37

А. В. Крылов, Е. С. Цобкалло, Г. П. Мещерякова
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ОТСУТСТВИЯ ТЕСНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ 38

О. И. Ширин, С. С. Козлова, В. А. Липин
ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА АКТИВНОСТЬ ЛИПАЗЫ И АМИЛАЗЫ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ХВОЙНОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПЕРЕД ОТБЕЛКОЙ 39

И. М. Егоров
ПРОВЕДЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 40

М. А. Бакаева, Е. С. Сашина
ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕРМОХРОМНЫХ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН 42

М. В. Чепурнова, Д. В. Пушкарь, А. П. Михайловская
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В УСЛОВИЯХ ЩЕЛОЧНОГО ГИДРОЛИЗА 43

Е. С. Коннова, А. А. Безруков, Е. В. Саклакова, О. В. Асташкина
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИН 45

Л. Н. Ахметзянова, О. И. Гладунова, Ю. Ю. Вилачева
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ПРЕПРЕГОВ 46

А. С. Мясищева, Ю. А. Петрова, А. Н. Евдокимов, В. А. Липин
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ 47

М. Р. Гиниятов, О. И. Одинцова
ТЕХНОЛОГИИ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭКСТРИНСИВНОЙ ОТДЕЛКИ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТКАНЕЙ 48

И. С. Макурин, Ю. А. Петрова, В. А. Липин
ПОЛИАМФОЛИТ-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СОСТАВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАТАЛИЗЕ 49

В. В. Евдокимов, А. А. Козлов
ДЕФОРМАЦИОННО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 50

С. В. Федорова, Ю. А. Петрова, А. Н. Евдокимов, В. А. Липин
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА и АЛИФАТИЧЕКИХ ДИАМИНОВ 52

А. А. Громов, М. Байраммадова, Л. С. Петрова
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИТАМИНОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ТКАНИ 53

А. А. Пуртова, Ю. А. Петрова, В. А. Липин
ПЛЁНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННОЙ ЖИДКОСТЬЮ ДИКАТИОННОГО ТИПА 54

Н. С. Лукичева, Д. Е. Христофоров, А. Ю. Кузнецов
ГИБРИДНЫЕ СТЕКЛООРГАНИЧЕСКИЕ АРМИРУЮЩИЕ ТКАНИ ДЛЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ 55

Ю. А. Фоменко, И. Б. Глебова, А. М. Николаев, О. А. Шилова
ПОЛИМЕРЫ, КАК МАТРИЦА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 56

М. А. Егорова
ВАРИАНТ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОЛЗУЧЕСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ И ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДНЫХ НИТЕЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 58

Д. Д. Захарчук, В. С. Болтовский
ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ИЗ ВОЛОКНИСТОГО ОТХОДА ЛЬНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 60

Е. П. Ширшова, А. Ю. Кузнецов
ПОДБОР НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГАЗОВОЗДУШНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ 61

К. В. Иванова, Е. Н. Дресвянина, Е. Ю. Розова, Н. Н. Сапрыкина, Е. Н. Власова, К. А. Колбе
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАН-ЛИГНИН 62

С. В. Киселев
ПРОВЕДЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 63

Е. С. Коннова, П. С. Некрытов, Е. В. Саклакова, А. В. Анисимов, О. В. Асташкина
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, КАК НАПОЛНИТЕЛИ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА 65

Л. Н. Ахметзянова, К. С. Литвиченко, К. А. Мясников, К. А. Фатьянова
РОЛЬ ВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 66

А. А. Шрайнер, Е. С. Цобкалло
ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИКЛИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫМ ВЫБОРОМ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ 67

А. А. Козлов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ 68

Г. Д. Хасанов, Г. С. Кодириён, З. К. Мухиддин
НАНОЭМУЛЬГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА, СОДЕРЖАЩИЕ ЭФИРНОЕ МАСЛО ZIZIPHORA BUNGEANA 71

М. О. Фоминенко, Н. С. Лукичева
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КАРБОНИЗАЦИИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ 73

Е. А. Шестакова, О. М. Суворова, Н. Н. Сударева, Е. Н. Дресвянина, Е. М. Гордина, Н. Н. Сапрыкина, К. А. Колбе
ГАЛЛУАЗИТ – СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, ИНТЕГРИРУЕМЫХ В РАНЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ 74

Ю. Ю. Вилачева, О. В. Асташкина
МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР) 75

В. В. Евдокимов, И. М. Егоров
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВОПОЛАГАЮЩИХ ВЯЗКОУПРУГИХ 76

ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К. А. Ерзунов, А. В. Трегубов, М. Р. Гиниятов, О. И. Одинцова
ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ И ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА 79

А. П. Манькова, Е. В. Саклакова, Н. Ф. Богдан, О. В. Асташкина
АКТИВИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ 80

Н. А. Воронина, О. И. Гладунова
ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА «САМОЗАЛЕЧИВАНИЯ» ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ СВМПЭ ВОЛОКОН МЕТОДОМ СОРБЦИОННОГО АНАЛИЗА 81

А. А. Платунова, И. А. Зуев
ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТКАЦКИХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 82

А. А. Козлов, Т. Е. Бальнов
ВАРИАНТ ЦИФРОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 83

Ю. Ю. Вилачева, Л. Н. Ахметзянова, О. И. Гладунова, О. В. Асташкина
РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ 86

М. М. Цыганков, Т. Д. Шидловский, А. В. Труевцев
К ПРИМЕНЕНИЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРИКОТАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 87

А. Г. Макаров, И. М. Егоров
ВАРИАНТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 88

А. А. Цветков, Е. С. Сашина
ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИД-LiCI 90

А. А. Платунова, И. А. Зуев
СМЕСОВЫЕ И ГИБРИДНЫЕ ТКАНИ: СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 91

М. С. Переход, А. Кухаренко, З. Б. Йидег
РАЗГРАНИЧЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ 92

П. С. Пушкарский, О. И. Гладунова
ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ 94

В. И. Вагнер, М. А. Егорова
ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 95

О. И. Одинцова, В. Ю. Гришина, О. П.Смирнова, О. В.Козлова
РАЗРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ 97

А. Е. Прохорова, Е. П. Ширшова, А. Ю. Кузнецов
ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ИОННООБМЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ 98

Б. М. Примаченко
ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОНЕНТА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА 99

Р. А. Гришин, М. С. Полищук, Д. С. Тарасенко, О. В. Козлова
КЛЕЕВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ 100

В. В. Евдокимов, И. М. Егоров
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 101

Т. Ю. Анущенко, В. А. Хохлова, К. С. Литвиченко
ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛИГЛИКОЛИДНЫХ НИТЕЙ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ 103

Д. А. Сюртукова, Е. В. Кудрявцева
СИНТЕЗ СТАБИЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ 104

А. А. Козлов, В. В. Евдокимов
ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 106

К. А. Исаченко, А. С. Николаева
О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИПСОВОГО КОМПОЗИТА ЗА СЧЁТ ПРОПИТЫВАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ ГИДРОФОБНЫМ СОСТАВОМ 109

К. А. Зайцева, Н. С. Лукичева
ХЛОРГЕКСИДИН КАК АНТИМИКРОБНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ 110

М. С. Переход, А. Кухаренко, З. Б. Йидег
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНИ НА ФОРМУЕМОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 111

Н. В. Переборова, В. И. Вагнер
ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 112

Ш. Х. Хуршедзода, Б. С. Ёрова, З. У. Шерова, С. Р. Усманова, З. К. Мухиддин
ЭКСТРАКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВОЙ ФРАКЦИИ ИЗ СЕМЯН ПЛОДОВ *CERATONIA SILIQUA* 115

И. В. Солдатова, А. С. Николаева, Т. С. Атрощенко
О ВЛИЯНИИ ВОЛОКНИСТОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПРЯЖИ НА ЕЁ ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА 116

Е. П. Ширшова, А. Ю. Кузнецов, З. С. Константинов
ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ НА РОСТ РАСТЕНИЙ 117

А. Г. Макаров, Н. В. Переборова
РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 118

Д. Р. Пылаев, А. Ю. Кузнецов
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ 122

А. В. Носаева, Е. С. Цобкалло
ПЭТФ МОНОНИТИ: РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВАРЬИРОВАНИЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОНАПОЛНИТЕЛЯ 123

М. А. Егорова, В. В. Евдокимов
ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ 124

Л. Н. Ахметзянова, К. С. Литвиченко, К. А. Мясников, К. А. Фатьянова
РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФОРМУЕМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ 127

К. А. Головкова, Е. В. Кудрявцева
ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕЦИТИНОВОЙ ДИСПЕРСИИ С ВИТАМИНОМ С ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИПОСОМАЛЬНЫХ СИСТЕМ 128

Е. А. Перфильева, В. В. Марценюк
КИНЕТИКА ОТВЕРЖДЕНИЯ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ 129

С. В. Киселев, В. И. Вагнер
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛЗУЧЕСТИ ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ 130

С. И. Джуама, О. И. Кузнецов, Д. А. Петрова
ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА РАСТВОРЕНИЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН В ДИМЕТИЛФОРМАМИДЕ 133

А. А. Хлебосолов, Е. В. Саклакова
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ ОГНЕСТОЙКИХ ЛИСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЛЬФАТА АММОНИЯ В КАЧЕСТВЕ АНТИПИРЕНА 134

А. А. Оглобин
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ДОБАВКАМИ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АММИАКА 135

К. А. Фатьянова, В. В. Марценюк
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА, НАПОЛНЕННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ 136

А. А. Козлов, А. Г. Макаров
МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ 137

Д. Р. Шарипов, И. В. Миронов, В. В. Кандин, О. В. Козлова
ПОЛИМЕРНО-КЛЕЕВЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РУЛОННЫХ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ 141

Е. Ю. Тундешева, Е. В. Кудрявцева
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО СЫРЬЯ 142

А. Е. Прохорова, А. Ю Кузнецов., И. А. Кузнецов
ПЛАВАЮЩИЕ СОРБЦИОННОАКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ 143

С. А. Попова, В. В. Васильева
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ ДЛЯ ГЕРНИОПЛАСТИКИ 144

Н. В. Переборова, В. В. Евдокимов
ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 146

Н. С. Семенов, Н. И. Свердлова, А. Ю. Кузнецов
ИСКУССТВЕННЫЙ КАМЕНЬ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ СМОЛЫ И ПРОДУКТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА 149

В. В. Костюнин, Т. В. Костюнина, В. Н. Потапов
МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ДЕЛИГНИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ РЕАКЦИЯМИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ 150

С. В. Киселев, Т. Е. Бальнов
ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ 151

А. А. Соловьёва, А. В. Кандина, Е. Л. Владимирцева
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА 156

А. С. Мусихина, В. В. Марценюк
ПОЛИМЕРНЫЕ И КОМПОЗИТНЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ СПИН-КОУТИНГА ИЗ РАСТВОРОВ И ПРЕМИКСОВ 157

А. С. Аниськевич, М. П. Смирнова, А. А. Буринская
БИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ 158

М. Ю. Тырышкин, Н. П. Мидуков
МОДЕЛЬ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ БУМАГИ И КАРТОНА 159

Е. О. Тарханова, А. А. Соловьёва, Е. Л. Владимирцева, Ф. А. Быков
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ПОВЫШЕННОЙ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН 160

Д. М. Бхану, А. А. Шарапова, А. А. Буринская
СИНТЕЗ СТАБИЛЬНЫХ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ И ОЦЕНКА ИХ ФУНГИЦИДНЫХ СВОЙСТВ 162

Н. П. Мидуков, М. А. Зильберглейт, В. С. Куров, М. В. Колосова, Д. В. Сербул, А. В. Ильин
МОДЕЛЬ МАШИННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕЁ РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 163

А. А. Шарапова, А. А. Буринская
МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ СУБСТРАТОВ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 164

А. С. Жданова, Е. В. Кудрявцева
СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОЗДАНИИ КОСМЕТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ДЕМАКИЯЖА 165

Г. В. Ходак, Е. В. Кудрявцева
СИНТЕЗ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КОБАЛЬТА (II,III) 166

А. П. Макеева, Е. В. Кудрявцева
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРО- И ОЛЕОФОБНЫХ АГЕНТОВ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИМИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ 167

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В МЕДНО- И КАДМИЙ-ЭТИЛЕНДИАМИНОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Целлюлозные волокна широко применяются при производстве полимерных волокнистых и композиционных материалов благодаря сочетанию доступности, возобновляемого происхождения и комплекса физико-механических свойств. Они используются как самостоятельный волокнистый материал, а также в качестве армирующего компонента полимерных композиций. Свойства целлюлозных волокон во многом определяются строением и молекулярными характеристиками целлюлозы, в частности степенью полимеризации. Данный показатель характеризует среднюю длину макромолекулярных цепей и оказывает влияние на прочностные характеристики, растворимость, способность целлюлозы к переработке и поведение материала при различных видах химического и физического воздействия. Поэтому контроль степени полимеризации (СП) имеет важное значение при оценке качества целлюлозного сырья и прогнозировании свойств материалов на его основе.

Определение СП целлюлозы осуществляется, как правило, вискозиметрическим методом. Для проведения анализа применяют растворители на основе комплексов переходных металлов с этилендиамином. Наиболее распространёнными являются медно-этилендиаминовый комплекс (Cuen) и кадмий-этилендиаминовый комплекс (Cadoxen). Метод определения СП с использованием Cuen регламентирован стандартом ISO 5351:2010, тогда как применение Cadoxen в России регламентируется ГОСТ 25438-82 [1].

Отдельное значение имеет сопоставимость результатов, полученных с использованием различных растворителей. Значения СП, определённые в Cuen и Cadoxen, не являются полностью эквивалентными [2]. Универсальная зависимость, позволяющая непосредственно пересчитывать результаты из одной системы в другую, в настоящее время отсутствует. Поэтому сравнительная оценка растворителей представляет практический интерес для совершенствования методов контроля целлюлозы и повышения сопоставимости аналитических данных.

Было проведено сравнение вязкости растворов хвойной небелёной и хвойной частично белёной целлюлозы, приготовленных с использованием Cuen и Cadoxen. Для улучшения растворимости исследуемых образцов целлюлозу предварительно обрабатывали растворами диоксида хлора различной концентрации. Растворы диоксида хлора получали с использованием установки EMEC LOTUS EASY [3].

Сравнение результатов показало, что значения степени полимеризации, определённые с использованием Cuen, ниже значений, полученных в Cadoxen. Различия между результатами зависят от исследуемого образца и условий его предварительной обработки. Полученные данные подтверждают существенное влияние природы растворителя на результаты определения степени полимеризации целлюлозы.

Список литературы

1. Федюченко Н.Р., Ширин О.И., Липин В.А. Сравнительная оценка вязкости целлюлозы в азотсодержащих комплексах переходных металлов // Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы: Сборник материалов XVI всероссийской научной и студенческой конференции с международным участием и конкурса студенческих докладов имени профессора А.А. Лысенко. Санкт-Петербург, 2026. С. 138-139. EDN: JHRMVZ
2. Ширин О.И., Петрова М.Г., Федюченко Н. Р., Липин В.А. Использование растворителей на основе комплексов переходных металлов с алифатическим диамином для определения степени полимеризации целлюлозы // «Ломоносов-2026», секция «Химия»: Сборник материалов Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 2026. С. 218. EDN: QLCZIC
3. Липин В.А., Ширин О.И., Петрова М.Г., Григорьева П.А., Софронова Е.Д. Генератор диоксида хлора EMEC LOTUS EASY в технологии переработки целлюлозосодержащего сырья. В сборнике: Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Материалы VIII Международной научно-технической конференции им. профессора В. И. Комарова. Архангельск, 2025. С. 141-144. EDN: ADPPNM

А. А. Цветков[1], Е. С. Сашина[2]

[1] ООО «ЛИРСОТ»
[2] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАСТВОРЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИД – ХЛОРИД ЛИТИЯ

Для получения материалов текстильного назначения используются хлопковая и древесная целлюлоза, причем последняя после предварительной очистки растворяется в подходящих растворителях с последующим формованием в волокна и нити.

Альтернативным вискозному способу получения волокна из древесной целлюлозы явился процесс Лиоцелл с использованием в качестве растворителя N-метилморфолин-N-оксида [1]. В качестве сырья используют древесную целлюлозу высокой степени чистоты с небольшим количеством гемицеллюлозы и отсутствием лигнина. Процесс проводится в замкнутом цикле и растворитель может быть многократно использован. Волокна Лиоцелл имеют высокие показатели прочности и износостойкости. В качестве недостатков технологии следует упомянуть, что продукты разложения растворителя, появляющиеся при высоких температурах, делают процесс взрывоопасным.

Более современной можно считать технологию, основанную на использовании ионных растворителей с азотсодержащими катионами, например, имидазолия, аммония, пиридиния [2]. Развитие промышленной технологии сдерживает высокая стоимость данного класса растворителей, а также недостаточная изученность их токсичности и экологичесикх характеристик.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что ионные жидкости переводят целлюлозу в растворенное состояние путем сольватации, при этом анион растворителя образует водородные связи с протонами гидроксильных групп полимера. Поэтому считается, что величина параметра основности Камлета-Тафта может служить характеристикой растворяющей способности ИЖ по отношению к

целлюлозе.

В качестве альтернативы может рассматриваться растворяющая система, представляющая собой раствор хлорида лития в диметилацетамиде. Немаловажно, что в данной смеси растворимы разные виды целлюлоз, в том числе с относительно невысоким содержанием альфа-целлюлозы. Получаемые волокна отличаются высокими прочностными характеристиками [3].

Физико-химическими методами было установлено, что растворение в этой системе происходит по механизму прямой сольватации за счет образования водородных связей хлорид-катиона с гидроксилами целлюлозы. Сольватохромные параметры Камлета-Тафта могут служить для оценки физико-химических свойств и в том числе растворяющей способности диметилацетамида с различным содержанием хлорида лития.

Нами изучены методом спектроскопии растворы LiCl в диметилацетамиде в диапазоне концентраций LiCl 0-8 % масс, содержащих до 0,15 %масс воды. С использованием сольватохромных зондов нильского красного, *n*-нитроанилина и 4-нитроанизола подтверждено, что с увеличением концентрации соли система ДМАА-LiCl становится более полярной, увеличивается ее основность и донорные свойства. Эти результаты коррелируют с изменением растворяющей способности системы в зависимости от содержания соли. Полученные данные могут быть использованы при выборе оптимальных параметров в технологии переработки целлюлозы.

Список литературы

1. Franks N.E., Varga J.K. Patent USA 4145532. Process for making precipitated cellulose. 1979.

2. Swatloski R.P., Rogers R.D., Holbrey J.D. Patent US 6824599 B2. Dissolution and processing of cellulose using ionic liquids. 2004.

3. Калачева А.В., Мусин Р.Р., Мусина Т.К., Полещикова Н.В., Радишевский М.Б., Строева И.В., Цветков А.А. Патент RU 2805062. Способ получения целлюлозной нити. 2023.

Н. С. Лукичева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве теплоизоляционных материалов могут использоваться углеродные пены или аэрогели, обладающие благодаря пористой структуре низкой теплопроводностью. Как было рассмотрено в [1], одним из эффективных подходов к созданию углеродных аэрогелей с хорошими теплоизоляционными характеристиками служит темплатный синтез, где формирование пор осуществляется с помощью специальных шаблонов (темплатов), в качестве которых могут выступать частицы таких полимеров как поливинилхлорид, поливиниловый спирт, поликрилонитрил, вспененный полистирол [2]. После удаления этих добавок в структуре остаются пустоты, определяющие один из ключевых параметров теплоизоляционного материала — коэффициент теплопроводности, который зависит от размера, формы и закрытости пор.

В настоящем исследовании была разработана технология темплатного синтеза углеродных аэрогелей, а также проведено сравнение свойств полученных пористых материалов со свойствами наработанных ранее в работе [3].

Процесс получения углеродного аэрогеля включал стадии: дозирования и смешения фенолоформальдегидной смолы, уротропина и темплата; загрузку полученного премикса в форму; формование вспененного полимерного композита при 170 °С; карбонизацию при температуре 800 с получением углеродного материала.

В ходе исследования теплоизоляционных свойств углеродных пен было установлено, что коэффициент теплопроводности (λ) полимерного композита до карбонизации (0,05–0,06 Вт/мК) меньше, чем у карбонизованного (0,07-0,08 Вт/мК). Причем данная закономерность не зависит от природы и химического состава используемых темплатов. В тоже время при получении углеродных пен путем добавления в структуру пенообразователя [3] наблюдался обратный эффект: после карбонизации коэффициент теплопроводности снижался (с 0,05–0,06 Вт/мК до 0,03–0,04 Вт/мК). Данное расхождение может быть связано с видом образующейся пористой системы. В случае темплатной технологии образуется преимущественно закрытопористая структура, обусловленная выгоранием темплата, и не участвующая в процессе конвективного рассеивания тепла. А образование вместо полимерной более электропроводной углеродной матрицы обуславливает повышение теплопроводности. При использовании вместо шаблонов вспенивателей поры получаются более открытые, сообщающиеся, благодаря чему конвективное рассеивание тепла компенсирует повышение теплопроводности за счет смены материала стенок пор и даже позволяет снизить коэффициент теплопроводности после карбонизации.

Наличие закрытопористой структуры у углеродных аэрогелей, скорее всего, будет сказываться на температуропроводности, то есть скорости нагрева образца, поэтому следующим этапом исследования предполагается изучение кинетики передачи тепла и определение областей применения данных материалов.

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: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. С. 47-49.

2. Сейталиева Д.Г., Лукичева Н.С. Подбор темплата для получения углеродного пористого материала // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах: Тезисы докладов VI международной научной конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. С. 87-88.

3. Лукичева Н.С., Лысенко А.А., Кузнецов А.Ю., Тальвинский С.О. Многослойные углерод-углеродные композиционные материалы для теплоизоляции // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 4. С. 50-58. DOI 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-50-58.

Н. В. Переборова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МЕТОДОЛОГИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕДЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛАКСАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются методология и критерии проведения 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-2026-0003.

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. 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.

А. Н. Мурашова[1], Е. В. Кудрявцева[1], М. В. Лихолетова[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2] Ресурсный центр «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА СТАБИЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Развитие нанотехнологий сегодня выступает одним из ключевых факторов прогресса в самых разных секторах – от здравоохранения и природоохранной деятельности до энергетики и микроэлектроники. Наномасштабный диапазон (1–100 нм) обеспечивает материалам особый комплекс свойств, благодаря чему появляется возможность проектировать системы с заранее заданными и принципиально новыми параметрами. В научно-технической практике широкое применение получили магнитные наночастицы на основе оксидов железа, никеля и кобальта, включая их иммобилизованные формы в полимерных матрицах.

Перспективным материалом является магнетит: его наночастицы находят применение в медицинской диагностике и терапии, каталитических процессах, электронике, очистке сточных вод, а также в антибактериальных покрытиях и композиционных составах. Однако переход от лабораторных разработок к широкому практическому использованию сдерживается проблемами масштабирования синтеза и поддержания коллоидной устойчивости. С практической точки зрения преодоление этих ограничений возможно только на междисциплинарной основе, что делает рассматриваемое направление перспективным как для фундаментальных исследований, так и для инновационных разработок.

В экспериментальной части работы синтез наночастиц Fe_3O_4 осуществляли химическим способом: в качестве прекурсоров применяли сульфат железа (II) и хлорид железа (III) в концентрационном диапазоне 0,002–0,005 моль/л, а функцию восстановителя выполнял цитрат натрия. В роли стабилизирующих добавок рассматривались β-циклодекстрин ($C_{42}H_{70}O_{35}$) – циклический олигосахарид, принадлежащий к макроциклическим соединениям, и желатин – водорастворимая смесь полипептидов, получаемая при гидролизе коллагена.

Спектры поглощения коллоидных растворов, зарегистрированные на спектрофотометре УФ-6700, характеризуются максимумами в интервале 320–350 нм; согласно литературным сведениям, это служит указанием на наличие наночастиц

магнетита Fe_3O_4. Данные сканирующей электронной микроскопии свидетельствуют о размерах частиц 30–50 нм.

Выпаривание синтезированных коллоидных растворов и последующий обжиг в муфельной печи приводят к формированию чёрного порошка. Его магнитные свойства подтверждаются как качественным экспериментом с постоянным магнитом, так и измерением магнитного момента на сквид-вибрационном магнитометре *MPMS SQUID VSM (Quantum Design Inc.).* Получены полевые зависимости статической намагниченности порошков наночастиц магнетита при температурах 2, 50, 300 К. При анализе зависимости удельной намагниченности (emu/g) от напряжённости магнитного поля (kOe) при температуре 300 К видно, что кривая проходит практически через начало координат (0,0). Ветви намагничивания и размагничивания (при прямом и обратном ходе поля) сливаются в одну линию. Это означает, что коэрцитивная сила (H_c) и остаточная намагниченность (M_r) близки к нулю. Такое поведение при 300 К характерно для суперпарамагнитных наночастиц – однодоменных частиц, у которых тепловая энергия превышает энергию магнитной анизотропии, – либо для очень мягких ферримагнетиков. Удельная намагниченность насыщения при 300 К составляет 2,9 emu/g.

При охлаждении до 2 К тепловой энергии становится недостаточно, чтобы преодолеть барьер магнитной анизотропии. Магнитные моменты наночастиц «замерзают» и жестко фиксируются вдоль легких осей намагничивания. Это соответствует переходу через температуру блокировки: материал переходит из суперпарамагнитного в ферримагнитное состояние.

При температуре 2 К намагниченность насыщения достигает примерно 3,4–3,5 emu/g, что заметно выше, чем при 300 К (2,9 emu/g). Такое поведение согласуется с законом Блоха ($T^{3/2}$): при низких температурах тепловые спиновые флуктуации подавляются, и магнитные моменты выстраиваются более строго вдоль поля.

Это свидетельствует о том, что исследуемый материал является магнитоупорядоченным. Сравнение полевых зависимостей намагниченности, полученных при 300 и 2 К, указывает на переход образца из суперпарамагнитного состояния в магнитно-блокированное. При 300 К гистерезис практически отсутствует: коэрцитивная сила и остаточная намагниченность близки к нулю. При 2 К наблюдается петля гистерезиса с остаточной намагниченностью и коэрцитивной силой порядка нескольких килоэрстед (kOe), что характерно для магнитотвёрдого ферримагнитного состояния. Это позволяет заключить, что температура блокировки исследуемого образца лежит в интервале между 2 и 300 К.

Полевая зависимость намагничивания при комнатной температуре является основой для применения суперпарамагнитных наночастиц оксидов железа (SPIONs – *Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles*) в биомедицинских технологиях: магнитной гипертермии, магнитно-управляемой доставке лекарств и МРТ-контрастировании. Отсутствие гистерезисных потерь и остаточной намагниченности в нулевом поле снижает склонность частиц к неконтролируемой агрегации, что уменьшает риск тромбообразования и облегчает их выведение из организма.

Помимо биомедицинских приложений, сочетание суперпарамагнитных свойств и возможности магнитного управления делает такие частицы перспективными и в других областях. В экологии и катализе они применимы как легко извлекаемые магнитом сорбенты для удаления тяжёлых металлов и органических загрязнителей из воды, а также как магнито-отделяемые и повторно используемые катализаторы. Кроме того, эти частицы могут найти применение в электронике и материаловедении – в проводящих

чернилах, магнитных носителях информации и поглотителях электромагнитного излучения.

Измерения намагниченности были проведены в Ресурсном центре «Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники» Научного парка СПбГУ в рамках проекта № 125021702335-5.

М. А. Егорова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ ИССЛЕДОВАНИЯ 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 различный [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]

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

где

ε_t - деформация, зависящая от времени t,

σ_t - напряжение, зависящее от времени t,

E_0 - модуль упругости,

E_∞ - модуль вязкоупругости,

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

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

$$\varphi'_{\varepsilon t} = \bar{r}_{\varepsilon t} = \frac{\partial\varphi_{\varepsilon t}}{\partial(\ln t)} = \frac{A_\varepsilon}{4}\cdot\frac{1}{ch^2(W_{\varepsilon t})} =$$

$$= \frac{A_\varepsilon}{4}\cdot\left(1 - th^2(W_{\varepsilon t})\right) = A_\varepsilon\cdot\varphi_{\varepsilon t}\cdot(1-\varphi_{\varepsilon t}) - \qquad (3)$$

интегральное ядро релаксации,

$$W_{\varepsilon t} = \frac{A_\varepsilon}{2}\cdot\ln\frac{t}{\tau_\varepsilon} = \frac{A_\varepsilon}{2}\cdot\left(\ln\left(\frac{t}{t_1}\right) + \ln\left(\frac{t_1}{\tau_\varepsilon}\right)\right). \qquad (4)$$

A_ε - параметр интенсивности процесса релаксации,

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

логарифмическая функция времен релаксации [13].

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

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

путем последовательных приближений.

Формула (6) представляет собой преобразование Лапласа, в котором спектр релаксации $\bar{H}_{\varepsilon\tilde{\tau}}$ 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-2026-0003.

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., 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 их 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.

Г. И. Легезина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ ИНДУСТРИИ

В современной Доктрине продовольственной безопасности России указывается на прямую зависимость между современными агроматериалами и ключевыми задачами государства по импортозамещению и повышению урожайности. Одним из видов полимерных волокнистых материалов, обеспечивающих продовольственную безопасность, является полимерный волокнистый укрывной материал – спанбонд. Качество спанбонда напрямую влияет на эффективность агротехнологий, защиту урожая и стабильность поставок сельхозпродукции, что является основой Доктрины продовольственной безопасности. Применения полимерного укрывного материала с достаточной плотностью и УФ-стабилизацией защищает посевы от заморозков, града и ветра, снижая риск потери урожая; обеспечивает рост урожайности и раннее созревание сельскохозяйственных культур, что повышает общие объемы производства внутри страны.

Инновационными направлениями в сфере использования укрывных материалов являются разработка и создание «умных» агроматериалов, в которых используют индикаторы влажности, отражающие за счет изменения цвета полотна содержание влаги в почве. Это простой и дешёвый способ мониторинга состояния почвы без использования сложных и электронных систем. Специальные вещества добавляют либо в полимерный расплав перед формированием волокон, либо наносят пропиткой на готовое полотно. В первом случае эффект долговечнее, во втором — дешевле и проще масштабировать.

Показатель водопроницаемости — это один из ключевых параметров для «умного» спанбонда с индикаторами влажности и pH. Данный показатель напрямую влияет и на работу индикаторов, и на здоровье растений. Водопроницаемость является критически важным показателем, поскольку индикатор «чувствует» влагу только при контакте с почвой. Если вода не проходит сквозь полотно, индикатор не отразит изменение влажности грунта, поскольку он должен реагировать на реальный водный режим почвы, а не на воду, скопившуюся на поверхности.

Исследование и оценка водопроницаемости при разработке «умных» укрывных материалов (спанбонда) — это критически важная инженерная и агрономическая задача: от неё зависит, будет ли индикатор показывать реальную картину или вводить в заблуждение.

Для исследования и оценки водопроницаемости были отобраны образцы агроткани «спанбонд» белого цвета отечественного производителя с плотностью 30 г/м^2

и 60 г/м2. Для оценки водопроницаемости определялся коэффициента и скорости фильтрации. Результатам испытаний показали, что материал плотностью 30 г/м^2 имеет большую водопроницаемость, чем материал плотностью 60 г/м^2, также скорость (время) фильтрации воды существенно больше у материала плотностью 60 г/м^2.

Исследования показывают, что при проектировании «умного» укрывного материала следует ориентироваться на плотность 30 г/м^2., поскольку при применении укрывных материалов с большей прочностью индикаторы не в полной мере будут отражать реальное содержание влаги в почве. Разработчикам «умного» укрывного материала с использованием индикаторов можно рекомендовать в технических параметрах на материал указывать данные по сроку службы материала, что важно для отражения реальной картины состояния влаги в почве.

Д. Е. Христофоров, Е. С. Иванова, А. Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕКОВ В КАЧЕСТВЕ ПРЕКУРСОРОВ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пеки представляют собой сложную смесь тяжелых углеводородных и гетероциклических соединений. Это твёрдый продукт, остающийся после перегонки каменноугольной смолы, фракционирования нефти или термической обработки органических материалов (например, поливинилхлорида). Благодаря высокому содержанию углерода, в районе 90-95 масс.%, и способности к карбонизации с высоким выходом углеродного остатка – от 60 до 75 масс.%, пеки являются перспективным прекурсором для получения углеродных волокон и других углеродных материалов – от пористых электродов до углерод-углеродных композитов со специальными свойствами.

Наиболее распространённые виды пеков – каменноугольный и нефтяной. Каменноугольный пек – это один из продуктов коксования угля, характеризующийся высокой степенью ароматизации и поликонденсации ароматических структур и наличием в составе множества гетероатомов, таких как сера, азот и кислород. Нефтяной пек, получаемый из тяжёлых нефтяных фракций, содержат меньшее количество поликонденсированных ароматических соединений и гетероатомов в структуре, больше алкильных заместителей в бензольных кольцах и нафтеновых углеводородов. Именно этот вид пека часто используют для получения игольчатого кокса и высококачественных пористых электродов. Применение пеков для получения углеродных материалов включает их использование в качестве волокнообразующего сырья, дающего при карбонизации и графитации углеродные волокна, как правило, с высокой электропроводностью, теплопроводностью и модулем упругости, превышающим модуль упругости углеродных волокон из других материалов. Второй путь – использование пека в качестве связующего или пропитывающего агента для углеродных каркасов, который при термической обработке превращается в углеродную матрицу.

Отдельного внимания заслуживает совмещение пеков с фенольными смолами. Фенолформальдегидные смолы представляют собой классические термореактивные полимеры, которые при пиролизе дают стеклоуглерод с высоким выходом кокса, однако им присущи хрупкость и относительно низкая электропроводность. Кроме того, стеклоуглерод не поддаётся графитации. Совмещение пеков с этими смолами может

позволить создать гибридные матрицы, в которых пек действует как пластификатор на стадии формования, снижая вязкость смолы, и одновременно увеличивает общий выход углеродного материала после пиролиза, уменьшая усадку и растрескивание. Кроме того, пек способствует образованию более упорядоченных графитоподобных доменов внутри аморфной матрицы стеклоуглерода, что способствует повышению электро- и теплопроводности, а также снижает стоимость композита, поскольку пек дешевле многих модификаторов.

Таким образом, пеки остаются незаменимым сырьём для углеродной промышленности благодаря их доступности и высокому содержанию углерода, а комбинирование пеков с фенольными смолами открывает путь к созданию композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ

Полиамидные комплексные нити относятся к одному из наиболее востребованных синтетических материалов, что связано с комплекса уникальных функциональных свойств, к которым, прежде всего, следует отнести высокие прочностные свойства. Техническая комплексная полиамидная нить используется для изготовления прочных тканей, шнуров, ремней, сетей и армирующих материалов, способных выдерживать большие нагрузки и износ. Механические свойства комплексной нити определяются, прежде всего, структурой и свойствами составляющих элементарных нитей. Но, так как комплексная нить представляет собой пучок элементарных нитей, её свойства определяются расположением и взаимодействием элементарных нитей в пучке.

На основе статистического подхода с использованием распределения Вейбулла проведён сравнительный анализ прочностных свойств и комплексной нити элементарных нитей, образующих комплексную нить. Обработка экспериментальных данных велась в пакете статистики R, среди опций которого есть: возможность отсеивание выскакивающих значений по методу Box & Whisker plot; автоматическое определение числа интервалов группировки в зависимости от объема выборки (но этот параметр можно задавать и отдельно); построение гистограмм частот; подбор сглаживающего эмпирического распределения и аппроксимация результатов статистических измерений стандартными распределениями в том числе нормальным распределением и функцией Вейбулла с проверкой модели на адекватность по критерию Колмогорова – Смирнова.

В качестве объектов исследования были выбраны техническая комплексная полиамидная нить (98 текс) и элементарные нити (диаметр порядка 8 мкм), образующие эту комплексную нить. Число нитей в пучке составляло 273-280 элементарных нитей. Проведено по 200 испытаний на прочность как для комплексных, так и для элементарных нитей в режиме одноосного растяжения на универсальной испытательной установке «INSTRON 1122» при скоростях растяжения 200 мм/мин.

Проанализировано на гистограммах частот положение наиболее выраженных пиков (мод) и квантилей распределениях и определены коэффициенты подобия между

значениями квантилей для элементарной нити и пучка. Показано, что коэффициенты подобия примерно равны 90% от числа нитей в пучке. Выявлена высокая степень корреляционной зависимости между параметрами эмпирического распределения для элементарной нити и пучка. Определен коэффициент детерминации, найдены уравнения линейной регрессии связывающие прочностные свойства элементарной нити и пучка. Выявленная высокая степень корреляции между параметрами эмпирического распределения для элементарной нити и пучка, позволяет статистические исследования прочностных свойств нитей проводить на образцах комплексной нити и распространять полученные данные на элементарные нити, что существенно упрощает экспериментальные исследования.

С. В. Киселев

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ 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]:

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

где

ε_t - деформация, меняющаяся во времени t,

σ_t - напряжение, меняющееся во времени t,

E_0 - модуль упругости,

E_∞ - 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]

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

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 [8].

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 [9].

Однако, для повышения точности, достоверности и надежности прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов учет поправок на необратимую компоненту деформации является необходимым [10].

Чтобы решить задачу прогнозировании деформационных процессов полимерных текстильных материалов с учетом поправки на необратимую часть деформации надо экспериментально определить коэффициент необратимости деформации [11].

С этой целью можно провести эксперимент по повторному нагружению образца полимерного текстильного материала сразу после завершения деформационного процесса и восстановления материала при разгрузке [12].

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 [14].

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 [15].

Коэффициент необратимости деформации μ подлежит экспериментальному

определению, как отношение остаточной деформации $\varepsilon_{ост.}$ к экспериментально достигнутому значению полной деформации ε^* [16]

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

Соответственно, коэффициент обратимости деформации η равен

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

На основе (3) и (4) получаем формулу для величины остаточной (необратимой) деформации [17]

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

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

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., 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.

17. 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.

Е. А. Шестакова[1], Е. Н. Дресвянина[2], О. М. Суворова[2], Н. Н. Сударева[2], Е. М. Гордина[3], Н. Н. Сапрыкина[2], К. А. Колбе[2], А. Ю. Гагарина[4], Д. А. Козодаев[5]

[1] Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
[2] Филиал ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт» Институт высокомолекулярных соединений
[3] ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России
[4] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"
[5] ООО "Активная фотоника"

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАНА С НАНОФИБРИЛЛАМИ ХИТИНА

Волокна на основе хитозана широко применяют в биомедицине и медицине, в частности, для создания нетканых кровеостанавливающих материалов и раневых покрытий.

В настоящей работе методом мокрого формования получены волокна хитозана, содержащие от 0.5 мас.% до 30 мас.% нанофибрилл хитина (НФХ). Для повышения антибактериальной активности в композиционные волокна с содержанием 0.5 мас.% НФХ вводили Ag в ионной форме или в виде наночастиц.

Антибактериальные свойства композиционных волокон оценивали по отношению к эталонным штаммам грамположительных и грамотрицательных бактерий. Для количественной оценки антибактериальной активности образцов измеряли оптическую плотность инкубационных сред (после 24 часов нахождения в ней образцов волокон) при 600 нм по сравнению с контролем. Наибольшей активностью характеризовался образец хитозан+0,5%НФХ+Ag (ионная форма), чувствительность к которому демонстрировали все эталонные штаммы бактерий.

Биосовместимость композиционных волокон оценивали по пролиферативной активности дермальных фибробластов человека. Стандартный МТТ-тест продемонстрировал выживаемость и пролиферацию клеток в присутствии образцов волокон. Флуоресцентно окрашенные клетки были обнаружены на поверхности всех волокон, что свидетельствует об их биосовместимости. Пространственная организация волокон и их поверхностные свойства создают условия, благоприятные для прикрепления и последующей клеточной миграции.

Поверхность образцов хитозана содержащих от 0.5 до 30% НФХ исследовали методами сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии (СЭМ и АСМ). Рельеф поверхности волокон, демонстрируемый при помощи СЭМ, верифицирован (с большим разрешением и с характеристиками адгезии) методами АСМ. Исследование морфологии показало, что независимо от состава все образцы обладают выраженной продольной ориентацией рельефа, обусловленной процессом мокрого формования и последующей вытяжкой волокон. Продольные бороздки совпадают с направлением формирования нити и свидетельствуют о сохранении ориентационной структуры полимерной матрицы после введения наполнителя. Изменение же адгезионных характеристик связано преимущественно с модификацией поверхностной химии вследствие введения НФХ, а не только с увеличением шероховатости поверхности.

Приведенные результаты открывают перспективы анализа корреляции адгезионных характеристик волокон с количеством и свойствами интегрируемых композитов.

Список литературы

1. Maevskaia E.N. et al. Preparation and study of hemostatic materials based on chitosan and chitin nanofibrils // Nanotechnologies in Russia. 2020. Vol. 15. № 7–8. P. 466–475.

А. Ф. Алёхина, А. С. Смирнов, М. Байраммадова, Л. С. Петрова, О. И. Одинцова

Ивановский государственный химико-технологический университет

МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫЕ ФОРМЫ ВФП ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В условиях изменчивого климата актуальным становится использование текстильных материалов с терморегулирующими свойствами, обеспечивающими поддержание оптимальной температуры микроклимата организма человека при экстремально низких и высоких температурах окружающей среды. Подобные текстильные материалы получают при использовании модифицированных пористых волокон, сложной нагревательной электроники, путем формирования комплексных материалов с применением современных утеплителей и мембран. Однако большинство материалов характеризуются способностью замедлять теплообмен без аккумулирования тепловой энергии и проявлением неравномерного терморегулирующего эффекта. Материалы нового поколения, включающие вещества с фазовым переходом, позволяют эффективно управлять тепловым балансом за счет способности к поглощению тепловой энергии в процессе плавления и ее высвобождению – при кристаллизации. Прямое применение веществ с фазовым переходом (ВФП) для отделки текстильных материалов ограничено тем, что они не способны к взаимодействию с волокнообразующими полимерами, склонны к растеканию и разрушению в расплавленном состоянии. В исследовании для модификации тканей предложено получение микрокапсулированных форм ВФП.

Традиционно для получения микрокапсулированных ВФП с прочной оболочкой применяют меламин и формальдегидсодержащие препараты, характеризующиеся высоким токсикологическим действием на биосферу. В качестве безопасных оболочкоформирующих веществ предложено применение системы глиоксаль/мочевина, взаимодействующих по реакции поликонденсации. Среди широкого спектра ВФП органического и неорганического происхождения выбран пчелиный воск. Пчелиный воск является биоразлагаемым веществом с высокой скрытой теплотой плавления (до 200 кДж/кг), при этом диапазон температур плавления и кристаллизации данного сложного вещества близок к температуре тела человека.

Технологический процесс синтеза микрокапсул на основе пчелиного воска включал эмульгирование расплава воска в присутствии синергетической композиции неионогенных и анионоактивных поверхностно-активных веществ с последующим введением форполимера, синтезированного путем поликонденсации глиоксаля и мочевины (соотношение 2:1) в кислой среде. Методом динамического рассеяния света на анализаторе Photocor Compact-Z установлено, что в дисперсии присутствуют капсулы, средний размер которых не превышает 120 нм. При использовании микроскопа МИКМЕД-6 и цифровой программы «Toup View» определено, что для капсул характерна правильная сферическая форма.

Таким образом, разработан способ получения микрокапсул, содержащих пчелиный воск в качестве ядра, и оболочкой, синтезируемой за счет поликонденсации бесформальдегидной системы глиоксаль/мочевина. Небольшой размер капсулированных форм ВФП может способствовать равномерному распределению частиц на поверхности текстильных материалов, открывая перспективы для создания легких, комфортных и безопасных изделий на их основе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-20207.

Е. С. Цобкалло

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ И АНТИСТАТИЧЕСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время инновационной текстильной продукцией нового поколения являются материалы, обладающие определённым комплексом специальных свойств. В последнее время остро встала проблема создания текстильных материалов из нитей с электропроводящими свойствами. Эти материалы должны обладать также высокой прочностью, технологичностью, малым удельным весом, что не выполнимо в случае использование металлических нитей. Востребованные применения таких текстильных материалов разнообразны, среди которых следует в первую очередь следует отметить следующие: текстильные полотна для экранирования электромагнитных полей; синтетические материалы с отсутствием эффекта накопления статического электричества на их поверхностях; электропроводящие волокна и текстильные полотна (тканые, трикотажные, нетканые) для создания обогревательных устройств различного вида и др. Известно, что статическая электризация синтетических текстильных материалов приводит к нарушениям технологических процессов получения материалов особенно при наличии пожаро-взрывоопасных смесей, пыли и паров легковоспламеняющихся жидкостей; неблагоприятно воздействует на организм человека, пользующегося текстильными изделиями на основе синтетических материалов. Это вызывает необходимость гигиенического нормирования предельно допустимой интенсивности электростатического поля. Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля (Епду) при воздействии не более одного часа за смену устанавливается равным 60 кВ/м. Применяемые в настоящее время отечественные материалы полностью не обеспечивают защиту человека от вредных воздействий электромагнитных полей и статического электричества.

Разработана концепция создания технологий производства новых видов электропроводящих, антистатических, экранирующих и теплорассеивающих синтетических текстильных нитей и полотен, полученных на основе полимерной волокнообразующей матрицы и различных видов углеродных нанонаполнителей для изготовления рабочей одежды, текстильных технических изделий, экранирующих электромагнитные поля полотен и другой продукции текстильной и лёгкой промышленности; теплорассеивающие материалы.

Созданы текстильные композиционные нити нового поколения на основе волокнообразующей полимерной матрицы и углеродных нанонаполнителей разного типа – углеродных нанотрубок, частиц технического углерода, углеродных нановолокон, обладающих комплексом эксплуатационных физико-механических свойств (стабильными электропроводящими, теплопроводящими и достаточно высокими механическими свойствами, а также необходимыми другими свойствами). Разрабатываются теоретические основы прогнозирования и моделирования электро- и теплопроводящих, физико-механических и специальных свойств наноструктурных волокнистых композиционных материалов.

А. Ю. Кулешова, Е. С. Сашина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ТЕРМОХРОМНЫЕ КРАСИТЕЛИ В ТЕКСТИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Современные инновации давно проникли в мир моды, где 3D-крой и IT-технологии помогают дизайнерам и текстильщикам проектировать одежду, способную реагировать на погодные условия и организм человека. Термохромизм как свойство материалов изменять свой цвет при изменении температуры основан на воздействии тепла на химическую структуру красителя, в результате поглощение света происходит в другом диапазоне. В текстильных материалах применяются органические системы лейкокрасителей, заключенных в полимерную микрокапсулу, чтобы предотвратить растекание композиции при нагреве или влияние внешней среды. Такой подход позволяет создавать, в том числе, цветонастраиваемые смеси микрокапсул с двойными интервалами термочувствительности.

В текстильный материал такие микрокапсулы интегрируют разными способами [1, 2]:

- метод пропитки материала дисперсией красителя с последующей сушкой и термофиксацией;
- шелкотрафаретная печать;
- введение красителя в структуру полимерного волокна.

Чтобы получить визуально сложные и объемные термохромные эффекты, дизайнеры используют термохромные волокна при создании слоев жаккардовых тканей, в трехмерной вышивке с градиентными цветовыми переходами, 3D-печать.

В результате создаются модели одежды с появляющимся или меняющимся рисунком при изменеии температуры, например, когда человек заходит с холодной улицы в теплое помещение, в местах соприкосновения с источником тепла, во время тренировок.

Термохромные технологии используют как мировые гиганты технологичной моды, так и локальные бренды. Итальянский бренд Stone Island был первым, представившим коллекцию термохромной одежды Ice Jacket. Джемперы Ice Knit из специальной пряжи меняют цвет при выходе на улицу из желтого в зеленый или из черного в камуфляжный рисунок.

Известный производитель одежды для туризма, охоты и рыбалки Remington создает куртки, изменяющие цвет в процессе физической активности человека.

Пуховики и ветровки австралийского бренда Mertra реагируют на тепло рук,

меняя цвет с матового черного на ярко-зеленый или фиолетовый.

В России также появились производители технологичной одежды, которые используют, наряду с другими инновациями, термохромные ткани и нити. Так, известный бренд массмаркета Finn Flare Thermo выпустил линейку одежды из термопряжи. Джемперы, куртки, пальто и шапки меняют цвет при перемещении из помещения на холодную улицу.

Бренд Bothus Mancus предложил коллекцию повседневной одежды (футболки, рубашки, лонсливы) в нескольких оттенках, плавно изменяющихся в зависимости от температуры.

Периодически капсульные коллекции с использованием термочувствительных материалов выпускают и такие гиганты спортивной одежды и обуви как Nike и Adidas

Список литературы

1. Сашина Е.С., Михайловская А.П., Бакаева М.А., Кулешова А.Ю. Термохромные полимеры, волокна и материалы: получение и свойства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5 (407). С. 20–29.

2. Sashina E.S., Yakovleva O.I., Vakulenko S.A. // Fibre Chemistry. 2024. № 1. P. 1–5.

3. Thermochromic – термохромная ткань, реагирующая на изменение температуры. URL: https://remington.fashion/blog/tekhnologii-i-materialy-odezhdy/tekhnologii-i-materialy-odezhdy-thermochromic/. (дата обращения: 20.09.2026)

4. BOTHUS MANCUS. URL: https://bothusmancus.ru/. (дата обращения: 20.09.2026)

Е. С. Коннова, А. А. Безруков, Е. В. Саклакова, О. В. Асташкина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ГИБРИДНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ С ГРАФЕНОМ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Использование гибридных наполнителей на основе карбида кремния в комбинации с графеновыми нанопластинами в полимерных композиционных материалах (ПКМ) — одно из очень динамично развивающихся направлений в промышленности и технологии.

Сочетание нульмерных (0D) или трехмерных (3D) частиц SiC с двумерными (2D) листами графена (или графеновыми нанопластинами) позволяет достичь синергетического эффекта. Этот подход устраняет индивидуальные недостатки каждого из наполнителей и открывает широкие возможности для теплопроводящих, диэлектрических, высокопрочных и триботехнических полимерных композитов.

Главная проблема при введении только графена в полимер — его высокая склонность к агрегации. Карбид кремния может выступать в роли идеального компонента, который обеспечивает мостиковый эффект, так частицы карбида кремния механически «раздвигают» листы графена, препятствуя их сворачиванию и повторному склеиванию, что улучшает дисперсию в матрице.

Кроме того, твердые частицы карбида кремния заполняют пустоты между графеновыми пластинами, и создают трехмерную перколяционную сеть, по которой эффективно транспортируется тепло (увеличивается сквозная теплопроводность).

Сильные межфазные взаимодействия между частицами карбида кремния, графеном и полимерной матрицей (например, эпоксидной или эпоксивинилэфирной смолами) обеспечивают эффективную передачу механических напряжений.

Перспективные сферы применения таких материалов:

1. Электромобили и силовая электроника: подложки плат, корпуса инверторов и термоинтерфейсы (термопасты, прокладки), требующие быстрого отвода тепла от транзисторов.

2. Авиакосмическая отрасль: легкие и прочные детали фюзеляжа и крыльев с защитой от молний, статического электричества и экстремальных температур.

3. Военная техника: облегченные композитные бронепластины с полимерной матрицей, способные гасить кинетическую энергию за счет высокой ударной вязкости.

Использование карбида кремния совместно с графеном позволяет обойти классическую проблему материаловедения, когда улучшение одного свойства ухудшает другие. Эффективность таких ПКМ напрямую зависит от качества предварительного смешивания (например, совместный помол в шаровых мельницах или ультразвуковое диспергирование), что остается главным вектором технологической оптимизации.

Далее будут изучены методики введения и смешения карбида кремния различных фракций, с графеновыми нанопластинами в полимерные матрицы, и изучение свойств полученных композиционных материалов.

А. А. Козлов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ 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. [6].

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 [7].

Для определения механических характеристик необходимо построение математической модели, отражающей физический смысл и концептуальные закономерности механического поведения полимера [8].

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 [9].

Естественное желание упрощения модели, при прочих равных условиях, диктуется стремлением облегчить процедуры определения механических характеристик полимеров и прогнозирования деформационных процессов [10].

Включение же в модель избыточных параметров, существенно не влияющих на точность прогнозирования, усложняет процедуру получения решения [11].

Математическая модель механических свойств полимерных текстильных материалов представляет собой, как правило, систему уравнений относительно определяемых характеристик, связанных дополнительными условиями [12].

Для получения единственного решения системы требуется задание параметров, которыми могут служить данные эксперимента, полученные лабораторным путем [13].

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 [14].

После составления математической модели, при наличии необходимых экспериментальных данных, переходят к процедуре определения механических характеристик с помощью численных методов [15].

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 [16].

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 [17].

Математическое моделирование механических свойств полимеров полезно сочетать с разработкой критериев достоверности определения механических

характеристик и надежности прогнозирования деформационных процессов [18].

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 [19].

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

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.

17. Демидов А.В., Макаров А.Г., Сталевич А.М. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 3. С. 48-49.

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

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

Е. С. Анцева, А. А. Малыгина, О. И. Одинцова

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФИРНОГО МАСЛА ПОЛЫНИ ДЛЯ РЕПЕЛЛЕНТНОЙ ОТДЕЛКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В летний период возникает потребность защиты человека от укусов кровососущих насекомых. Существует ряд репеллентных средств, которые можно наносить на кожные покровы или ткань, однако их недостатком является возможность появления аллергических реакций у человека. Возникает необходимость поиска новых экологически безопасных препаратов.

Перспективным средством против насекомых являются эфирные масла, например, масло Полыни, которое обладает широким спектром различных свойств: отпугивающими насекомых, ранозаживляющими, антимикробными [1]. Заключение его в микрокапсулы позволит создать экологически безопасный способ репеллентной отделки текстильных материалов и обеспечит сохранение его свойств в течение длительного времени [2]. Цель работы состояла в исследовании возможности создания композиций с микрокапсулами, содержащими эфирное масло Полыни и изучении их размерных характеристик и агрегативной устойчивости. Для получения такой композиции были опробованы два состава с последующей их сравнительной характеристикой. Первый состав содержал микрокапсулы с эфирным маслом Полыни, оболочка которых состояла из синтетических полиэлектролитов (ВПК-402, Акремон LK-2). Оболочки микрокапсул второго состава состояли из природных полиэлектролитов: хитозана и альгината натрия. Размеры частиц полученных микрокапсул определяли методом динамического рассеяния света на приборе Photocor Compact-Z, изображения были получены с применением метода оптической микроскопии. Размеры частиц первого и второго составов лежат в пределах нано- и микрометрового диапазона (от 11 до 286 нм). Составы не расслаивались и обладали приятным ароматом.

Проведенные исследования показали возможность получения микрокапсул, содержащих в своем ядре эфирное масло Полыни с оболочкой из синтетических и натуральных полиэлектролитов. Все составы стабильны до 14 суток и более. С целью повышения стабильности таких эмульсий и предотвращения образования скоплений агрегатов, изучено влияние микродобавок стабилизатора органической природы. Установлено снижение размеров частиц микрокапсул и повышение стабильности эмульсии до нескольких месяцев.

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

Список литературы

1. Huong T.N., Zámboriné E.N Sources of variability of wormwood (Artemisia absinthium L.) essential oil // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2016. V. 3. P. 143–150.

2. Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В. Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4. С. 85-89.

А. В. Крылов, Е. С. Цобкалло, Г. П. Мещерякова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ОТСУТСТВИЯ ТЕСНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ

Среди задач современного материаловедения одной из актуальных является создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) с заранее известными тепло- и электропроводящими свойствами. Для ее решения существенный интерес представляют ПКМ с углеродными наполнителями при создании которых широко используются разнообразные углеродные наполнители: микро- и наночастицы графита, технический углерод, углеродные нановолокна, нанотрубки и многие другие, а также различные комбинации данных наполнителей. Важным преимуществом углеродных наполнителей является их низкая плотность, благодаря чему ПКМ с углеродными наполнителями оказываются гораздо легче материалов с металлическими наполнителями. Другим достоинством углеродных наполнителей является возможность изменять механические и физические свойства создаваемого материала в широких пределах. При исследовании физических процессов распространения тепла в композиционных материалах большая роль отводится компьютерному моделированию. Математические модели, описывающие распространение тепла в многокомпонентных средах, либо дают результаты, плохо согласующиеся с экспериментальными (модель Максвелла-Бургера-Эйкина, модель Релея, Хассельмана-Джонсона) [1], либо сами по себе не могут быть решены без привлечения компьютеров. Одни же экспериментальные результаты и полуэмпирические модели не дают возможности прогнозировать физические свойства материалов.

Для изучения процесса распространения тепла в ПКМ на основе полипропиленовой (ПП) матрицы и наполнителя из углеродных нановолокон (УНВ) в среде Comsol Multiphysics была создана геометрическая цифровая модель данного материала. На ее основе были получены согласующееся с экспериментом значение коэффициента теплопроводност $\lambda_{ПКМ}$ при массовой концентрации наполнителя $K = 5\%$ [2]. Но для более высокого содержания УНВ $K = 8\%$ полученное на основе модели значение $\lambda_{ПКМ}$ существенно больше, чем экспериментальное.

Микрофотографии СЭМ сколов данного материала с помощью [3], свидетельствуют о весьма слабой адгезии между полимерной матрицей и УНВ что позволило предположить наличие прослойки воздуха между ПП матрицей и наполнителем. Существующая геометрическая модель была доработана путем введения слоя воздуха толщиной 10-40 нм, окружающего каждое углеродное нановолокно. Вычисленное на основании доработанной модели значение коэффициента теплопроводности при массовой концентрации наполнителя $K = 8\%$ согласуется с данными эксперимента при толщине воздушной прослойки d = 20 нм.

Список литературы

1. Pietrak K., Wiśniewski T.S. A review of models for effective thermal conductivity of composite materials // Journal of power technologies. 2015. № 95 (1). P. 14-24.

2. Цобкалло Е.С., Крылов А.В., Мещерякова Г.П. Цифровое моделирование распространения тепла в полимерном композиционном материале, наполненном углеродными нановолоками // Химические волокна. 2025. №2. С. 50-54.
Баланёв А.С. Физико-механические свойства полипропиленовых плёночных нитей с углеродными наполнителями: дисс. на соискание ученой степени к. т. н.. Санкт-Петербург, 2010. 148 с.

О. И. Ширин, С. С. Козлова, В. А. Липин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА АКТИВНОСТЬ ЛИПАЗЫ И АМИЛАЗЫ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ХВОЙНОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПЕРЕД ОТБЕЛКОЙ

Современные технологии отбелки сульфатной целлюлозы направлены не только на достижение требуемой белизны, но и на снижение расхода химических реагентов, уменьшение экологической нагрузки и сохранение свойств целлюлозного волокна. Перспективным направлением является ферментативная предварительная обработка, которая действует селективно на отдельные компоненты древесного сырья при сравнительно мягких условиях. Одним из способов повышения эффективности ферментативной обработки является добавление поверхностно-активных веществ, которые улучшают смачивание материала и снижают нежелательную сорбцию ферментов на остаточном лигнине. При этом действие ПАВ зависит от их химической природы: неионогенные и анионные ПАВ могут по-разному влиять на активность ферментов. В связи с этим исследование влияния ПАВ на эффективность ферментной обработки для подготовки целлюлозы к отбелке является актуальным [1,2].

Целью работы было изучение влияния различных поверхностно-активных веществ на активность ферментов липазы и амилазы при предварительной обработке хвойной сульфатной целлюлозы перед отбелкой. В реакционную среду дополнительно вводили ПАВ различной природы: неионогенные Tween 20, Brij 35, Triton X-100 и анионные SDS, SLES. Последующая обработка диоксидом хлора [3] и другими отбеливающими реагентами усиливала различия между вариантами предварительной обработки. Эффективность обработки оценивали по числу Каппа, степени полимеризации и содержанию α-целлюлозы с использованием стандартных методик.

Анализ полученных результатов показал, что добавление ПАВ заметно влияет на эффективность ферментативной обработки целлюлозы, что подтверждается изменением всех исследуемых показателей. В большинстве вариантов более выраженное положительное действие проявляли неионогенные ПАВ. Наиболее эффективным оказался Tween 20. Его применение сопровождалось снижением числа Каппа, увеличением содержания α-целлюлозы и изменением степени полимеризации беленой целлюлозы. Оптимальная концентрация ПАВ для повышения активности липазы и амилазы составила около 0,1 %. При меньшей концентрации эффект был слабо выражен, при большей концентрации ПАВ дальнейшего улучшения показателей не наблюдалось.

Полученные результаты показали целесообразность применения использованных в данном исследовании ПАВ для повышения эффективности ферментативной обработки целлюлозы перед отбелкой. Применение таких систем позволяет улучшить показатели

целлюлозы и может способствовать снижению расхода химических реагентов на стадии отбелки.

Список литературы

1. Одинцова С.Е., Светлолобов А.Ю., Федоскин И.А., Тараченкова М.Н., Липин В.А Исследование добавки поверхностно-активного вещества к ферменту при предварительной обработке целлюлозы. // Ломоносов-2023: Сборник материалов Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. 2023. С. 1077. EDN: AGYJNN

2. Демьянцева Е.Ю., Липин В.А., Смит Р.А., Федоскин И.А. Патент РФ RU 2776126 C1 Способ делигнификации целлюлозных материалов. EDN: MZTVXH.

3. Липин В.А., Ширин О.И., Петрова М.Г., Григорьева П.А., Софронова Е.Д. Генератор диоксида хлора EMEC LOTUS EASY в технологии переработки целлюлозосодержащего сырья. В сборнике: Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. Материалы VIII Международной научно-технической конференции им. профессора В. И. Комарова. Архангельск, 2025. С. 141-144. EDN: ADPPNM

И. М. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПРОВЕДЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА 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 размешаются 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 основовязаные 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 основовязаных 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-2026-0003.

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.

М. А. Бакаева, Е. С. Сашина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕРМОХРОМНЫХ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Полиакрилонитрильные (ПАН) волокна обладают светостойкостью, устойчивостью к химическим воздействиям, микроорганизмам и нагреву до 150 °С, что

позволяет широко применять их в текстильной промышленности.

Термохромные красители – это красители способные изменять цвет в ответ на изменение температуры. Глобально термохромные красители можно разделить на обратимые и необратимые. Необратимые красители меняют цвет однократно, после изменения вернуть первоначальный цвет невозможно. Обратимые красители способны к многократным циклам изменения цвета, что позволяет использовать их в качестве температурных датчиков там, где необходим постоянный контроль температуры [1, 2].

Одним из наиболее востребованных типов являются термохромные лейкокрасители, которые относятся к органическим соединениям. Обычно термохромные композиции на основе лейкокрасителей состоят из трех компонентов: красителя (лейкокрасителя), проявителя и растворителя. Изменение цвета в этой системе происходит в результате двух конкурирующих реакций: одной между красителем и проявителем, а другой – между растворителем и проявителем [1].

Нами были приготовлены растворы ПАН (взят сополимер акрилонитрила CH_2=CHCN), метилметакрилата CH_2=$C(CH_3)COOCH_3$ и итаконовой кислоты CH_2=$C(COOH)CH_2COOH$) в ДМФА с вариативностью концентрации термохромного красителя от 0 до 30 % масс. Формование волокон проводили на лабораторной установке. Термохромные свойства образцов изучали при помощи портативного спектроколориметра *X-Rite RM200QC* и инфракрасного термометра с лазерным целеуказателем *Testo 830-T1*. Разрывную нагрузку определяли на универсальной установке *Instron 1122*.

Введение термохромного красителя в раствор полиакрилонитрила приводит к снижению удельной разрывной нагрузки получаемых волокон. При концентрации красителя 5–20 масс. % волокна пригодны для изготовления текстильных материалов. Если содержание красителя выше 20 масс. %, волокна можно применять для производства нетканых материалов. Например, бумагоделательным способом (с введением связующего), либо методом электропрядения (при условии оптимизации технологических параметров).

Список литературы

1. Sriphal S., Saenkham A., Chaodongbung T., Wanno B. Reversible coloring/decoloring reactions of thermochromic leuco dyes controlled by a macrocyclic compound developer // Struct. Chem. 2022. № 33. P. 1085-1095.

2. Сашина Е.С., Михайловская А.П., Бакаева М.А., Кулешова А.Ю. Термохромные полимеры, волокна и материалы: получение и свойства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 5 (407). С. 20–29.

М. В. Чепурнова, Д. В. Пушкарь, А. П. Михайловская

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В УСЛОВИЯХ ЩЕЛОЧНОГО ГИДРОЛИЗА

В настоящее время большое внимание уделяется разработке способов переработки отходов полимерных материалов либо до исходных мономеров, либо до

других низкомолекулярных соединений, значимых в химической индустрии, т. к. такие способы соответствуют принципам экономики замкнутого цикла. Одним из самых распространенных полимером на сегодняшний день является полиэтилентерефталат (ПЭТ). В России он относится к базовым полимерам, из которых производят одноразовые пластиковые изделия – бутылки, контейнеры, пленки и другие упаковочные материалы. Также из ПЭТ изготавливают синтетическое волокно, широко применяемое в текстильной промышленности. С учетом ужесточения механизма по урегулированию расширенной ответственности производителей способы утилизации отходов изделий из ПЭТ приобретает повышенную актуальность.

В Санкт-Петербургском государственном университете промышленных технологий и дизайна разработан способ получения терефталевой кислоты (ТФК) из вторичного полиэтилентерефталата (Патент RU 2865492). Сырьем для разработанного способа может служить как бутылочный пластик в виде флексы или порошка, так и отходы текстильных материалов из полиэфирного волокна (ткань, трикотаж, нетканое полотно). Способ позволяет получать ТФК высокой чистоты из вторичного ПЭТ с выходом целевого продукта 80-92 % и степенью превращения субстрата 90-100 %. Суть способа заключается в осуществлении щелочного гидролиза вторичного ПЭТ в присутствии катионного поверхностно-активного азотсодержащего вещества (КПАВ) с последующим добавлением воды в реакционную массу до полного растворения терефталата натрия и подкислением полученного раствора до выпадения в осадок целевой ТФК. Однако в разработанном способе отработка примеров осуществлялась при концентрации КПАВ 10-30 г/л и модуле ванны 50, что снижает экономическую эффективность разработанного способа.

Таким образом, цель настоящей работы заключалась в установлении минимальных значений концентрации КПАВ и модуля ванны, при которых количественные характеристики процесса щелочного гидролиза вторичного ПЭТ находятся на уровне выше 80 %.

В экспериментальной части работы щелочной гидролиз измельченного полиэфирного волокна (550 текс, Китай) осуществляли на установке с обратным холодильником в одинаковых условиях, но при разной концентрации бромида триметилцетиламмония в реакционной массе (от 1 до 15 г/л) и разном соотношении волокнистого субстрата к объему водного раствора щелочи (от 1:20 до 1:50). Эффективность процесса контролировали по степени превращения полиэфирного волокна. В результате установлено, что снижение соотношения волокнистого субстрата к объему водного раствора щелочи ниже 1:30 неэффективно, что вполне ожидаемо, т.к. в реакции гидролиза основным реагентом является вода. Снижение концентрации КПАВ в 2-6 раз по сравнению с концентрацией, приведенных в примерах Патента, не ухудшают основные количественные характеристики процесса, но дальнейшее снижение концентрации КПАВ замедляет процесс и может быть рационально, если это приводит к экономическому эффекту.

В дальнейшем планируется получить зависимость скорости реакции щелочного гидролиза различных полиэтилентерефталатсодержащих материалов от концентрации КПАВ, отличающихся химической природой галогенида и углеводородного радикала.

Е. С. Коннова, А. А. Безруков, Е. В. Саклакова, О. В. Асташкина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИН

Углеродные нанотрубки (УНТ) и графеновые нанопластины (ГНП) представляют собой передовые аллотропные модификации углерода. Сравнение их свойств критически важно для оптимизации создания композитов с уникальными.

УНТ являются одномерными полыми цилиндрами, полученными сворачиванием графенового листа, в то время как ГНП — это двумерные структуры, состоящие из небольшого числа слоев графена. Теоретически предполагается, что ГНП обладают большей доступной площадью поверхности для взаимодействия с полимерными матрицами и электролитами по сравнению с плотно упакованными пучками УНТ.

За счет одномерной структуры УНТ легче достигают порога перколяции (создания непрерывной токопроводящей сети) при ультранизких концентрациях в полимере. Но при этом, УНТ склонны к агломерации, что затрудняет их диспергирование в полимерах и растворителях. ГНП легче поддаются равномерному распределению методами сдвигового смешивания, однако склонны к обратному слипанию в графит.

Производство ГНП (путем эксфолиации графита) масштабируемо и экономически более выгодно, чем газофазное осаждение высокочистых одностенных УНТ. Плоская геометрия ГНП делает их более совместимыми со стандартными методами переработки полимерных композиционных материалов. УНТ предпочтительны там, где необходима направленная проводимость, создание высокочувствительных сенсоров или микроструктурное армирование нитей и волокон. ГНП оптимальны для крупнотоннажного производства конструкционных нанокомпозитов, антикоррозийных покрытий, теплоотводящих интерфейсов и электродов суперконденсаторов.

Нами были исследованы некоторые свойства УНТ и ГНП, такие как насыпная плотность (ГОСТ 25699.14-93), влажность (ГОСТ 17818.1-90), объем сорбционного пространства по парам толуола (ТУ 6-06-И160-87161) и pH (ГОСТ 33776-2016) водной вытяжки.

• Насыпная плотность: УНТ обладают чуть большими значениями насыпной плотности (0,104 г/см³), чем графеновые нанопластины (0,098 г/см³). Разница невелика, однако это указывает на то, что УНТ в исходном виде упакованы в порочшке более плотно.

• Влажность: УНТ удерживают влагу при хранении на воздухе значительно сильнее — показатель составляет 5,1 %, что более чем в 2,5 раза превышает влажность ГНП (1,87 %). Это с одной стороны говорит о более высокой гидрофобности нанотрубок, а также о наличии в их структуре большого количества капиллярных полостей и дефектов, удерживающих воду.

• Объем сорбционного пространства по парам толуола: УНТ составляет 0,76 см³/г, что почти в 10 раз выше, чем у графеновых нанопластин (0,08 см³/г). Это обусловлено специфической морфологией: полые внутренние каналы трубок и поры в их переплетенных пучках создают доступный объем для поглощения молекул.

• Кислотность среды (pH): для графеновых нанопластин имеет слабокислый характер (pH = 6,69), в то время как у углеродных нанотрубок среда слабощелочная (pH = 7,38). Это указывает на разный тип и количество функциональных групп (например, кислородсодержащих) на поверхности материалов, сформировавшихся в процессе их синтеза или очистки.

Таким образом, исследовав основные свойства УНТ и ГНП, можно спрогнозировать поведение наполнителей в различных полимерных матрицах.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ПРЕПРЕГОВ

Гибридные препреги, сочетающие в своей структуре непрерывный и дисперсный наполнители, представляют собой перспективный класс материалов, в которых реализуется принцип многоуровневого армирования. Дисперсный компонент вводится в матрицу с целью модификации её свойств — повышения ударной вязкости, снижения диэлектрической проницаемости, улучшения теплофизических характеристик, тогда как непрерывный волокнистый каркас обеспечивает несущую способность и технологическую формуемость полуфабриката. Основная материаловедческая проблема таких систем заключается в достижении равномерного распределения частиц в объёме матрицы без образования агломератов и дефектов структуры.

Одним из традиционных технологических приёмов является пропитка армирующего наполнителя (стекло- или углеткани) связующим, содержащим дисперсные частицы. В этом случае армирующий материал проходит через пропиточную ванну с наполненным связующим, после чего осуществляется сушка для удаления растворителя и частичная полимеризация. Основным недостатком данного способа является седиментационная нестабильность лёгких дисперсных наполнителей — например, полых стеклянных микросфер, которые всплывают на поверхность связующего. Для предотвращения этого явления необходимо обеспечивать постоянное перемешивание связующего в пропиточной ванне либо вводить дополнительные добавки-загустители, повышающие вязкость системы и препятствующие всплытию более лёгких частиц. Аналогичная проблема характерна для наноразмерных наполнителей, склонных к агломерации и седиментации в низковязких смолах.

Альтернативный подход к созданию гибридных препрегов связан с напылением дисперсного наполнителя на пропитанный связующим армирующий тканый каркас. Данный метод позволяет контролировать равномерность нанесения дисперсной фазы и локализовать её в межслойных областях. Например, в работе [1] полые стеклянные микросферы вводились в межслойные области углекомпозита, что обеспечивало снижение плотности и теплопроводности при сохранении прочностных характеристик. Однако при напылении также наблюдается агломерация частиц: согласно [2], индекс дисперсности суспензии графена снижался с 67,7% до 57,4% после напыления.

Таким образом, гибридные препреги с дисперсными и непрерывными наполнителями позволяют направленно модифицировать матрицу при сохранении несущей способности волокнистого каркаса, однако их получение связано с рядом технологических трудностей, которые требуют решения путём оптимизации режимов пропитки или напыления для обеспечения равномерного распределения дисперсной фазы в объёме матрицы.

Список литературы

1. Zhang S., Zhang J. Enhancing the mechanical and insulation properties of CF/BPR composites by adding hollow silicate glass microspheres as an interlaminar reinforcement // Polymer Degradation and Stability. 2024. Vol. 225. P. 110781.
2. Islam M.N., Ar-Rashid H., Islam F. et al. Fabrication and Characterization of E-Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Resin Based Composite Materials // Nano Hybrids and Composites. 2019. Vol. 24. P. 1-7.

А. С. Мясищева, Ю. А. Петрова, А. Н. Евдокимов, В. А. Липин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Проблема загрязнения гидросферы и сточных вод тяжелыми металлами является актуальной ввиду их токсического воздействия и угрозы для здоровья населения. Используемые традиционные методы очистки часто экономически и технически нецелесообразны, так как они отличаются высокой стоимостью и приводят к образованию опасных токсичных отходов, требующих утилизации. Наиболее перспективным методом является адсорбция благодаря своей высокой эффективности, универсальности и простоте применения. Полимерные сорбенты являются перспективными материалами для очистки сточных вод благодаря возможности направленного регулирования их физико-химических характеристик, таких как удельная площадь поверхности, сорбционная емкость, пористость и гидрофильность. Химическая модификация структуры полимеров за счет введения функциональных мономеров позволяет создавать сорбенты, значительно повышающие эффективность очистных процессов [1].

Целью данной работы является получение композиционных сорбентов на основе акриловой кислоты для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и изучение их физико-химических свойств.

Сорбент получали взаимодействием акриловой кислоты с эпихлоргидрином в присутствии хлорида тетраметиламмония с мольным соотношением 1:1, 1:2 и 1:0,5, синтез проводили в среде диметилформамида в присутствии инициатора азобисизобутиронитрила при температуре [2].

Была исследована сорбционная способность полученных сорбентов по отношению к ионам Cu^{2+}, Ni^{2+} и Co^{2+}. Доказано, что сорбция ионов металлов достоверно описывается моделью Ленгмюра, что свидетельствует о гомогенной поверхности сорбента. Согласно модели Дубинина-Радушкевича, численные значения кажущейся энергии сорбции во всех случаях >8 кДж/моль, что свидетельствует о химической природе процесса [3]. Установлено, что кинетика процесса сорбции описывается моделью псевдо-второго порядка. Методом сканирующей электронной микроскопии исследована морфологическая структура полимера и его комплекса с Cu^{2+}. Сорбция ионов металлов сопровождается образованием координационных связей, формируя стабильный хелатный комплекс.

Список литературы

1. Липин В.А., Евдокимов А.Н., Петрова Ю.А., Эрнандес Гарсиа Д.Д., Красанов И.В., Дмитриева А.В., Ситникова В.Е. Сорбционная способность полимера на основе карбоксиметилцеллюлозы и глицидилакрилата по отношению к ионам металлов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 7. С. 125–132. EDN: JOJJUL.
2. Липин В.А., Евдокимов А.Н., Петрова Ю.А. Патент РФ. № 2024106655 Способ получения полиглицидилового эфира акриловой кислоты. 2025. Бюл. № 5. заявл. 13.02.2025. EDN: YQPKYR.
3. Мясищева А.С., Петрова Ю.А., Липин В.А., Евдокимов А.Н. Комплексообразующая способность полиглицидилакрилата // Физикохимия – 2026: материалы XX конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН. Москва, 2026. С. 66. EDN: AJQEME.

М. Р. Гиниятов, О. И. Одинцова

Ивановский государственный химико-технологический университет

ТЕХНОЛОГИИ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭКСТРИНСИВНОЙ ОТДЕЛКИ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТКАНЕЙ

Текстильные материалы в процессе эксплуатации подвергаются многократному истиранию, изгибу и проколам, что приводит к постепенной утрате функциональных свойств отделки — водоотталкивающих, огнезащитных, антимикробных. Традиционные подходы к продлению срока службы изделий предотвращают повреждение, но не устраняют его последствия. Альтернатива — самовосстанавливающиеся (self-healing) материалы: системы, способные автономно восстанавливать целостность покрытия без вмешательства человека.

По механизму реализации эффекта такие системы делят на экстринсивные, в которых восстановление обеспечивается капсулированным агентом, изначально отделённым от матрицы, и интринсивные, в которых обратимостью обладает сама полимерная сеть за счёт динамических связей. Для текстильных покрытий экстринсивный подход технологически наиболее зрелый: он совместим с существующим отделочным оборудованием и не требует синтеза специальных мономеров.

Большинство опубликованных экстринсивных систем отработано на синтетических волокнах и объёмных композитах; работы, ориентированные на целлюлозосодержащие ткани, единичны. Между тем в основе типичного механизма самовосстановления на базе капсулированных силанов лежит та же реакция гидролиза-поликонденсации алкоксисилана, что и в золь-гель отделке тканей тетраэтоксисиланом, уже применяемой для гидрофобизации и огнезащиты целлюлозных волокон.

Предлагается разработка экстринсивной самовосстанавливающейся отделки хлопчатобумажных и вискозных тканей на основе микрокапсулированного алкоксисилана. Агент изолируется полимерной оболочкой, формируемой методом эмульсионной межфазной поликонденсации; капсулы фиксируются на волокне по схеме плюсование-сушка- термообработка. При повреждении покрытия капсулы в зоне дефекта разрушаются, силан гидролизуется влагой воздуха и поликонденсируется, формируя силоксановый слой, запечатывающий дефект.

Задачи дальнейшего исследования: установление зависимости эффективности самовосстановления от параметров капсулирования; оценка сохранения потребительских свойств ткани после отделки; разработка методики количественной оценки способности покрытия к самовосстановлению после прокола иглой и истирания.

Список литературы

1. Dallaev R. Advances in Materials with Self-Healing Properties: A Brief Review // Materials. 2024. Vol. 17. No. 10.
2. Yang J., Huang M. Патент US 9879142B2. Microencapsulation of organic silanes and their use as self healing materials. 2013.
3. Mahltig B., Haufe H., Böttcher H. Functionalization of textiles by inorganic sol-gel coatings // Journal of Materials Chemistry. 2005. Vol. 15.

И. С. Макурин, Ю. А. Петрова, В. А. Липин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики

ПОЛИАМФОЛИТ-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В СОСТАВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАТАЛИЗЕ

Полиамфолиты способны образовывать комплексы с ионами металлов, обладающие высокой каталитической активностью, селективностью и стабильностью. Такие хелатные соединения могут быть использованы при создании гетерогенных металлополимерных композиционных материалов и каталитических систем на их основе [1].

Цель работы состояла в разработке функциональных композиционных материалов на основе комплексов полиамфолит-кобальт и полиамфолит-никель и изучении их каталитической активности в реакции окисления CO в сравнении с аналогичными катализаторами на основе Co(II) и Ni(II).

Полиамфолит-металлические комплексы (ПМК) получали из полиамфолитов, синтезированных на основе полиакриловой кислоты и алифатических диаминов: этилендиамина (ЭДА). 1,3-диаминопропан (ПДА), 1,4-диаминобутан (БДА). К полиамфолитам добавляли соли металлов ($CoSO_4$ или $NiSO_4$) [2,3]. Полученные ПМК представляют собой кристаллические фазы в структуре композита, нерастворимые в воде и органических растворителях, что критически важно для их использования в качестве гетерофазных композиционных катализаторов. Композиционные материалы на основе ПМК подвергались синхронному термическому анализу, проводилась масс-спектроскопия газовых смесей. Методом синхронного термического анализа установлено, что процесс термодеструкции комплексов происходит трехступенчато. Потеря массы составляет 92,3%. Установлено, что получение комплексов происходит самопроизвольно, а также, что устойчивость комплексов не изменяется в гомологическом ряду алифатического диамина.

Для испытаний в реакции окисления CO использовали композиты, содержащие полиамфолит-кобальт или полиамфолит-никель в сочетании с оксидной матрицей (оксид алюминия), прокаленные при 500 °C. Были разработаны функциональные композиционные катализаторы на основе терморазложенных ПМК. Каталитическую

активность оценивали на динамической установке по степени конверсии монооксида углерода. Было установлено, что производительность полученных композиционных материалов в 4,3 раза больше для Co(II) и в 2,8 раз больше для Ni(II), чем у каталитических систем на базе тех же металлов, не содержащих полимерную матрицу.

Список литературы

1. Макурин И.С., Липин В.А., Петрова Ю.А. Получение полиамфолит-металлических комплексов для каталитических целей // XXVIII Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием). 2025. С. 532. EDN: KGUUPS
2. Липин В.А., Суставова Т.А., Евдокимов А.Н., Горкина Т.Е. Патент РФ 2714670 Способ получения полиамфолита. 2020. Бюл. № 5. Дата заявки 04.07.2019. EDN: DGJCUB
3. Липин В.А., Пошвина Т.А., Федорова К.А., Фадин А.Ф., Мальцева Н.В., Вишневская Т.А. Полиамфолит-металлические комплексы для каталитических процессов // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2023. Т. 65. № 3. С. 230-240. EDN: GZPSYK

В. В. Евдокимов, А. А. Козлов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

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-2026-0003.

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.

С. В. Федорова, Ю. А. Петрова, А. Н. Евдокимов, В. А. Липин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИГЛИЦИДИЛАКРИЛАТА и АЛИФАТИЧЕКИХ ДИАМИНОВ

Для защиты поверхностей изделий, контактирующих с агрессивными средами, включая окружающую среду, необходимо использовать специальные покрытия, которые должны, в первую очередь, обеспечивать достаточно эффективные физические барьеры, чтобы препятствовать разрушению открытых поверхностей при контакте с агрессивными веществами. За счет различных модификация полимерного композита можно повысить механические и защитные свойства полимера для использования в качестве антикоррозионного слоя в различных средах [1]. Покрытия, полученные на основе карбоновых кислот, являются часто используемыми покрытиями, как обладающие адгезионными свойствами, а также химической стойкостью и устойчивостью к истиранию. Нанесение покрытий на основе органических соединений и их производных является эффективным способом защиты поверхностей различной природы от воздействия агрессивных сред и факторов окружающей среды [2].

Целью данной работы является получение композиционных покрытий на основе глицидилакрилата. Глицидиловый эфир акриловой кислоты синтезировали нагреванием акриловой кислоты с эпихлоргидрином при постоянном перемешивании [2,3]. Покрытие получали взаимодействием полиглицидилакрилата с этилендиамином, 1,3-диаминопропаном и 1,4-диаминобутаном при разном соотношении исходных компонентов в среде диметилформамида.

Было установлено, что в водных растворах в диапазоне pH 2-4 наблюдалось ухудшение гидрофобных свойств покрытий, что связано с гидрофилизацией поверхности. Полученные материалы нерастворимы в различных растворителях, в том числе в воде, бензоле, ацетоне, гексане, диметилформамиде, диметилсульфоксиде, изопропиловом спирте. Показано, что полученные покрытия имееют однородную морфологию и непористую поверхность.

Для оценки термостабильности и исследования процесса разложения покрытий проводился термогравиметрический анализ, который показал, что разложение происходит трехступенчато.

Установлено, что увеличение содержания диаминов в полимере повышает коэффициент жёсткости, делая покрытие менее эластичным, но более твердым. Однако

чрезмерное содержание ведет к ухудшению адгезии покрытия. Низкая концентрация диаминов способствует образованию крупных доменов молекул глицидилакрилата, создающих неоднородную поверхность с увеличенной шероховатостью. Наиболее оптимальным является 1,3-диаминопропан при молярном соотношении 1:0,5, который обеспечивает отсутствие избыточной хрупкости за счет достаточной длины алифатического радикала.

Синтезированные полимеры на основе полиглицидилового эфира могут применяться в качестве функциональных покрытий композиционных изделий промышленного назначения.

Список литературы

1. Montemor M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances // Surface and Coatings Technology. 2014. Vol. 258. P. 17-37.

2. Липин В.А., Евдокимов А.Н., Петрова Ю.А., Федорова С.В., Ковылин Р.С., Ситникова В.Е. Получение и свойства сложного эфира на основе полиглицидилакрилата и этилендиамина // Известия СПбГТИ(ТУ). 2025. №73 (99). С. 29-33. EDN: PCPLDS.

3. Евдокимов А.Н., Курзин А.В., Липин В.А. Петрова Ю.А. // Бутлеровские сообщения 2023. Т. 76. № 12. С. 167. EDN: ZODHMO.

А. А. Громов, М. Байраммадова, Л. С. Петрова

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИТАМИНОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ТКАНИ

Потребность в текстильных материалах косметического и медицинского назначения постоянно увеличивается. Ключевыми агентами для создания таких материалов является широкий спектр витаминов, антибактериальных препаратов и белков, обладающих доказанными регенерирующими, антиоксидантными и противовоспалительными свойствами. Однако прямое нанесение этих веществ на ткань невозможно из-за их высокой нестабильности: они быстро разрушаются под воздействием света, кислорода и температуры, теряя биологическую активность и образуя токсичные продукты окисления.

Цель исследования состоит в разработке методики капсулирования витаминов А и Е с использованием природных и синтетических полиэлектролитов для получения медицинских текстильных материалов с антибактериальным и косметическим эффектом. Объектами исследования служили витамины А и Е, масло алоэ вера в качестве липофильной фазы, ряд поверхностно-активных веществ, а также оболочкоформирующие агенты — хитозан, альгинат натрия, ксантановая камедь, Акремон LK-2 и полидиаллилдиметиламмоний хлорид. В качестве растворителя для витаминов А и Е выбрано масло алоэ вера — биосовместимая липофильная фаза, обладающая собственным ранозаживляющим действием.

Микрокапсулы получали методом послойной электростатической самосборки (Layer-by-Layer) с использованием разноимённо заряженных полиэлектролитов. Перемешивание на каждой стадии проводили в течение 5 минут со скоростью 600 оборотов в минуту, синтез вели при комнатной температуре. В результате синтеза получены две дисперсии, содержащие микрокапсулы с витаминами А и Е. Средний размер капсул, содержащих витамин А, в свежеприготовленной дисперсии не превышал

106 нм при сохранении дзета-потенциала системы в диапазоне -4,74±1,59 мВ. В случае синтеза капсул на основе витамина Е средний размер микрокапсул составил 24 нм, но в системе также присутствовали частицы с размером 100 нм (12%).

Иммобилизацию микрокапсул на целлюлозной ткани осуществляли двумя способами: двойной пропиткой с использованием закрепителя БЗУ-М и методом послойного нанесения с использованием полиэлектролитов ВПК-402 и Акремон LK-2. Оптимальным по эффективности закрепления оказался последний, послойный метод. В результате проведённых исследований разработана технология микрокапсулирования витаминов А и Е, полученные капсулы имели сферическую форму и размер в диапазоне от 23 до 160 нанометров. Все составы стабильны в течение 30 суток.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2026-0004 / The work was carried out within the framework of the State Assignment for Research, topic No. FZZW-2026-0004.

Список литературы

1. Thiele J.J., Hsieh S.N., Ekanayake-Mudiyanselage S. Vitamin E: Critical review of its current use in cosmetic and clinical dermatology // Dermatologic Surgery. 2005. V. 31. N. 7 (2). P. 805–813.
2. Mercer S., Bonrath W. 75 years of vitamin A production: A historical and scientific overview of the development of new methodologies in chemistry, formulation, and biotechnology // Organic Process Research & Development. 2023. V. 27. N. 8. P. 1300–1335.

А. А. Пуртова, Ю. А. Петрова, В. А. Липин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологий и энергетики

ПЛЁНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОДОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННОЙ ЖИДКОСТЬЮ ДИКАТИОННОГО ТИПА

Дикатионные ионные жидкости применяются в качестве альтернативы классическим пластификаторам благодаря своей термической стабильности и способности избирательно воздействовать на структуру полимерной матрицы. Соединения имидазолиевого ряда особенно востребованы при работе с полисахаридными матрицами, так как их введение в структуру позволяет избирательно регулировать эластичность и функциональные характеристики получаемых биополимерных материалов. Преимуществом таких соединений является их низкая летучесть, что снижает вероятность выхода пластификатора из плёнки в процессе хранения и эксплуатации материала [1,2].

Целью данной работы является получение пленок на основе дикатионной ионной жидкости и углеводов, и изучение влияния введения ионной жидкости в состав пленок на основе крахмала, агар - агара, карбоксиметилцеллюлозы и гидроксиэтилцеллюлозы. В качестве модификатора использовали 1,2-бис-(2,3-диметилимидазолий) бромистый этан — дикатионную ионную жидкость, синтезированную в среде изопропанола при соотношении реагентов 2:1. Формирование плёнок осуществляли путём введения ионной жидкости в растворы полисахаридов, содержание которой варьировали в диапазоне 20–60 масс. % по отношению к массе полисахарида [3].

Показано, что образцы на основе крахмала и агар-агара характеризуются низкой растворимостью в водной среде - это указывает на образование в них устойчивых пространственно-сшитых структур. Такое поведение подтверждается склонностью крахмала и агар-агара к формированию упорядоченных надмолекулярных структур за счёт межмолекулярных водородных связей. Напротив, плёнки, полученные с использованием карбоксиметилцеллюлозы и гидроксиэтилцеллюлозы, легко растворяются в воде, поскольку в этих системах отсутствуют устойчивые сшивки между полимерными цепями, а сами полисахариды обладают высокой гидрофильностью.

Установлено, что с увеличением содержания ионной жидкости в составе плёнок возрастает их эластичность независимо от природы используемого полисахарида. Этот эффект связан с пластифицирующим действием ионной жидкости: она встраивается между макромолекулярными цепями, ослабляет водородные связи между ними и тем самым повышает подвижность полимерной сетки. Показано, что изменение содержания ионной жидкости в составе композиции позволяет направленно регулировать свойства полисахаридных плёнок, а полученные полимеры перспективны в качестве биоразлагаемых упаковочных и функциональных материалов.

Список литературы

1. Липин В.А., Эрнандес Гарсиа. Д.Д., Пошвина Т.А., Пасичник Д.Н. Термодинамические свойства тройных систем «1-аллил-3-метилимидазолий хлорид-моносахарид-вода» // Химические волокна. 2023. № 3. С. 15–19. EDN: USMPSQ.

2. Липин В.А., Петрова Ю.А., Кудрявцева Д.Н. Физико-химические свойства дикатионной ионной жидкости 1,2-бис(1-метилимидазолия-3) этан дибромида // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 12. С. 1775–1780. EDN: YXIFZL.

3. Пуртова А.А., Петрова Ю.А., Липин В.А. Полимерные пленки на основе ионной жидкости и углеводов // Физикохимия – 2026: материалы XX конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН. 2026. С. 67. EDN: BBQVMG.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ГИБРИДНЫЕ СТЕКЛООРГАНИЧЕСКИЕ АРМИРУЮЩИЕ ТКАНИ ДЛЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Одним из решений проблемы возникновения электрохимической коррозии при контактном взаимодействии углепластиковых подшипников скольжения и некоторых металлических контртел в морской воде является замена тканого углеродного армирующего наполнителя на гибридный, сотканный из различных по химической природе и свойствам нитей/волокон. В котором одни нити обеспечивают необходимые прочностные характеристики, а другие — трибологические.

Целью данной работы является разработка гибридных (комбинированных) тканей для производства высоконагруженных антифрикционных композитов, а также исследование полимерных композитных материалов (ПКМ) на их основе.

Были разработаны и исследованы гибридные ткани — на основе стекловолокна и синтетических нитей (из сверхвысокомолекулярного полиэтилена — СВМПЭ, полиоксадиазольных — ПОД, параарамидных — СВМ, полиамидных — ПА,

фторопластовых — Ф4). В которых стекловолокна отвечали за прочностные характеристики ПКМ, а синтетические — за трибологические. Были изготовлены гибридные ткани саржевого переплетения следующих составов: Стекло/СВМПЭ, Стекло/ПОД, Стекло/СВМ, Стекло/ПА, Стекло/Ф4. Из которых были изготовлены гибридные ПКМ на эпоксидном связующем.

Замечено, что путем комбинации высокопрочного стекловолокна с жесткоцепными ПОД и СВМ волокнами удается повысить у гибридных ПКМ прочность на сжатие в 1,3–1,4 раза, прочность на изгиб — в 2,4 раза. А совмещение с гибкоцепными (ПА, СВМПЭ, Ф4) — позволяет увеличить лишь прочность на изгиб (в 1,2–1,4 раза), в то время как прочность на сжатие снижается в 1,1–1,2 раза.

Сравнение трибологических характеристик позволяет сделать вывод, что наилучшими для подшипников скольжения по данным свойствам можно назвать ПКМ на основе гибридной ткани Стекло/СВМПЭ.

Было проведено сравнение свойств, полученных образцов гибридных композитов со свойствами углепластика «УГЭТ», замена которого является целью настоящей работы. Показано, что гибридный композит на основе комбинированной ткани Стекло/ПА не подходит для замены углепластика в узлах трения судовых конструкций ввиду высокого водопоглощения; гибридные композиты на основе комбинированных тканей Стекло/ПОД и Стекло/СВМ — по причине бóльших, чем требуется, коэффициента трения и водопоглощения. Образцы гибридных композитов на основе тканей Стекло/СВМПЭ или Стекло/Ф4 оказались наиболее пригодными, так как обладают низким коэффициентом трения и водопоглощением, большей изгибной прочностью. Недостатком данных композитов является несколько сниженная прочность на сжатие.

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

Ю. А. Фоменко, И. Б. Глебова, А. М. Николаев, О. А. Шилова

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова – филиал Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт»

ПОЛИМЕРЫ, КАК МАТРИЦА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В технологии получения полимерных композиционных материалов под матрицей понимается непрерывная фаза, которая удерживает наполнитель, перераспределяет нагрузки и обеспечивает монолитность композиционного материала, а полимерным связующим называют полимерный материал, в который добавляют различные добавки для создания этой фазы и обеспечения необходимых технологических свойств композиции и эксплуатационных свойств композита. Свойства и структура матрицы во многом определяют способ получения композиционного материала и такие его свойства, как прочность, химическая стойкость, тепло- и влагостойкость. Таким образом, выбор матрицы является одной из основных задач в разработке составов полимерных композиционных материалов и покрытий. При разработке полимерных композиционных покрытий в качестве связующих применяют различные полимеры [1]. Они

характеризуются сложной иерархией и особенностями строения надмолекулярной структуры, которая зависит от вида полимера, условий синтеза и способа выделения в форме товарного продукта [2].

Изучение строения и структуры полимерных материалов помогает оптимизировать поисковую работу по выбору формы (дисперсия, порошок, гранула или лак) и способа применения полимеров при создании композиционных материалов из выбранной группы полимеров. Понимание особенностей структуры полимеров в различных товарных формах на разных масштабных уровнях позволят более сознательно подходить к выбору агрегатного состояния полимеров, оптимальной дисперсной среды, способу подготовки полимера к совмещению с наполнителем и количеству вводимого полимерного материала в качестве матрицы композиционного материала. Осознанный выбор агрегатного состояния, концентрации, обеспечивает не только совместимость полимерной матрицы с функциональными компонентами, необходимыми для создания материалов с требуемым набором свойств, но также является предпосылкой для управления механизмами старения и/или стабилизации полимеров в композиционных материалах. Изучение строения и структуры полимерных материалов в различных формах, в т. ч. наноструктурных особенностей полимеров и наполнителей, формирует новое понимание основ технологии переработки полимеров и процессов, протекающих при переработке полимеров в композиты.

При использовании фторсодержащих полимеров в качестве матрицы композиционных материалов, и покрытий в смеси с другими классами полимеров необходимо решить ряд технологических задач. Электронно микроскопические исследования и модельные представления о молекулярной и надмолекулярной структуре полимеров (фторсодержащих, акриловых и эпоксидных полимеров, а также полисилоксанов) рассмотрены в докладе.

Список литературы

1. Sorokin A.E., Sagomonova V.A., Petrova A.P. Thermoplastic-based binders for polymer-composite materials (Literature review) // Polym. Sci. Ser. D. 2022. № 15. P. 359–365. DOI:10.1134/S1995421222030285.

2. Structural Hierarchy of Polymers // In: Electron Microscopy of Polymers. Springer Laboratory. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 263–276. DOI:10.1007/978-3-540-36352-1_15.

3. Фоменко Ю.А., Николаев А.М., Шилова О.А. Фторполимеры на разных масштабных уровнях. Атлас // Молодежная школа по физике конденсированного состояния (ФКС-2026): сборник тезисов. Гатчина: ПИЯФ, 2026.

М. А. Егорова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ 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 σ [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-2026-0003.

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 процесслв 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.

Д. Д. Захарчук, В. С. Болтовский

Белорусский государственный технологический университет

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ИЗ ВОЛОКНИСТОГО ОТХОДА ЛЬНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Традиционно лён-долгунец возделывается ради получения длинного прядильного волокна для текстильной промышленности. Однако первичная переработка льнотресты сопровождается образованием нескольких фракций, среди которых особую ценность для химической технологии представляет короткое волокно. Если костра и солома характеризуются низким содержанием целлюлозы (42,3 % и 51,3 % соответственно) и высоким содержанием лигнина (до 26,4 %), то короткое волокно по своему компонентному составу сопоставимо с длинным: оно содержит 70,1–73,9 % целлюлозы и 4,4–5,8 % лигнина. Учитывая, что короткое волокно составляет 70,0–80,0 % от общего выхода волокнистой массы (156–267 кг на тонну тресты), оно является доступным и перспективным вторичным сырьем для получения целлюлозы высокого качества [1–3].

В качестве объекта исследования использовали образцы короткого льняного волокна РУПТП «Оршанский льнокомбинат» с исходным содержанием альфа-целлюлозы 84,0 % и лигнина 5,9 %.

Содержание лигнина и альфа-целлюлозы определяли от массы абсолютно сухого вещества (а.с.в.) по стандартным методикам, принятым в химии и химической технологии растительного сырья, после обработки короткого волокна льна раствором гидроксида натрия при повышенном давлении. Установлены параметры процесса (концентрация щелочи, давление, температура и продолжительность), обеспечивающие получение целлюлозного продукта с содержанием альфа-целлюлозы 95,9 % и остаточного лигнина – 1,1 % с выходом продукта 68,2 % от массы исходного сырья.

Таким образом, применение заданных параметров натронной варки позволило увеличить содержание альфа-целлюлозы на 14,2 % и снизить содержание лигнина на 81,4 % относительно исходного сырья. Высокий выход продукта (68,0 %) при его качественных показателях подтверждает технологическую эффективность данного способа.

Список литературы

1. Hailemariam T.T., Woldeyes B. Production and characterization of pulp and paper from flax straw // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 24300. 16 p. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-74096-y.

2. Захарчук Д.Д., Болтовский В.С. Комплексная переработка льна с получением инновационной продукции (обзор) // Труды БГТУ. Серия 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2. С. 77–91. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-10.

3. Корчагина А.А., Гладышева Е.К., Будаева В.В., Скиба Е.А. Химический состав волокна и костры лубяных культур и продуктов их щелочной делигнификации // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. № 4. С. 621–630.

Е. П. Ширшова, А. Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОДБОР НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГАЗОВОЗДУШНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ

Искусственные субстраты для растений — это искусственно созданные среды, предназначенные заменить естественные почвы, сохраняя возможность эффективного роста и развития растений. Искусственные субстраты находят свое применение в первую очередь в тех регионах, где невозможно вести естественное земледелие: засушливые и северные регионы, регионы с загрязненными и бедными почвами, в экстремальных условиях, а также в тепличном и гидропонных хозяйствах, при кровельном и фасадном озеленении. Данный вид почв позволяет выращивать растения там, где сложно обеспечить традиционный уход.

Составляющие для субстратов можно разделить на органические (торф, кокосовое волокно, древесная кора и опилки, мхи, компосты), минеральные (перлит, вермикулит, пемза, цеолит, керамзит, пеностекло, минеральная вата), синтетические (пенополиуретан, пенополистирол, ионообменная смола, нетканые полотна). Для обеспечения требуемых параметров для эффективного роста растений, составляющие соединяют в различных пропорциях и комбинациях. Однако данные смеси не лишены недостатков: пыление, быстрое пересыхание, низкая буферная емкость, неравномерное распределение влаги, слеживание и уплотнение в процессе использования, воздушные карманы из-за крупных фракций, вымывание компонентов и их разлет, травмирование жесткими и острыми гранулами корневой системы, зависимость от постоянного технического ухода.

От некоторых этих недостатков можно избавится путем введения этих компонентов в пористую, эластичную полимерную матрицу, которая будет удерживать составляющие субстратов, создавая единую воздушно-капиллярную систему. Одним из примеров такого полимера может быть поливиниловый спирт (ПВС). Для создания газовоздушных полимерных субстратов (ГПС) подойдут не все составляющие искусственных субстратов, к примеру, перлит и цеолит разрушаются при низких показателях pH, при которых осуществляется сшивка ПВС, хрупкие и тяжелые составляющие (керамзит, пемза) при механическом введении дробятся и оседают на дно, длинноволокнистые наполнители (минеральная вата, неизмельченные кокосовое и синтетические волокна) наматываются на вал мешалки или сминаются в ком.

Введение наполнителей в ГПС позволяет придать последнему большую формоустойчивость и механическую прочность, формирует капиллярно-пористую структуру, придает ионообменные свойства. Кроме того, наполнитель не должен разрушаться при низких значениях pH. В результате предварительных исследований выявлено, что подобными наполнителями являются древесные опилки (крупная и мелкая фракция), низинный торф, кокосовое волокно, а также их комбинации торф + кокосовое волокно.

ГПС получали путем сшивки ПВС простыми альдегидами в кислых условиях. Подготовленные еаполнители вводили в количестве 100 - 150 % от массы полимера. Полученные ГПС в виде пористых эластичных блоков отмывали до нейтральной реакции водной вытяжки. В блоки были высажены семена свеклы, салата, огурцов, гороха, горчицы, бархатцев, а также черенки роз, гибискуса и фикуса Бенджамина. Часть блоков предварительно замачивали в растворе органоминерального удобрения, при этом дальнейший полив осуществляли обычной водой, часть блоков без предварительной подготовки полив производили раствором для гидропонных культур.

К. В. Иванова, Е. Н. Дресвянина, Е. Ю. Розова, Н. Н. Сапрыкина, Е. Н. Власова, К. А. Колбе

Филиал ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт» Институт высокомолекулярных соединений

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОЛОКОН ХИТОЗАН-ЛИГНИН

В последнее время существенно возрос интерес к композиционным материалам на основе природных полимеров, хитозана и лигнина, благодаря их биоразлагаемости, биосовместимости и широкому диапазону биологической активности [1–3]. Хитозан является перспективной матрицей для создания волокнистых материалов медицинского и технического назначения. Введение лигнина в хитозановую матрицу позволяет не только утилизировать отходы целлюлозно-бумажной промышленности, но и целенаправленно управлять свойствами получаемых волокон.

Волокна получали из 4-х% растворов хитозана в 2-й% уксусной кислоте по мокрому методу формования. Для получения композиционных волокон лигнин предварительно перемешивали в течение 3-х суток, диспергировали в течение 10 минут. Концентрация лигнина в растворе составляла от 0,5 до 30 мас.%

Проведенные ИК-спектроскопические исследования показали образование солевой связи между протонированной аминогруппой хитозана и карбоксильной группой лигнина. Эффективность взаимодействия лигнина с полимерной матрицей зависит от концентрации наполнителя, наиболее сильное взаимодействие наблюдается при концентрации 0,5 мас.%.

Для всех концентраций наблюдается равномерное распределение лигнина в межкристаллических участках хитозановой матрицы, что подтверждается результатами СЭМ.

Введение лигнина позволяет повысить прочность волокна до 250 МПа при концентрации 0,5 мас.% и до 260 МПа при концентрации 5 мас.%. Удлинение при разрыве и модуль меняются незначительно (≈ 10-15%) при любом наполнении.

При введении лигнина в количестве 0,5-10 мас.% гигроскопичность снижается на 15%, влагоотдача – на 5 %, водопоглощение – на 5 %. При большем наполнении изменение гигроскопических свойств более выражено.

Проведенные исследования биосовместимости методом МТТ-теста показали отсутствие цитотокстичности как волокон из чистого хитозана, так и композиционных волокон. Волокна способны вовлекаться в клеточноматериальные взаимодействия, обеспечивая условия для адгезии и колонизации фибробластами. С увеличением содержания лигнина биосовместимость волокон возрастает.

Таким образом, полученные волокна являются перспективными для медицинских и биомедицинских применений.

Список литературы

1. Dallmeyer I., Chowdhury S., Kadla J.F. Preparation and characterization of Kraft lignin-based moisture-responsive films with reversible shape-change capability // Biomacromol. 2013. № 14(7). P. 2354–2363.
2. Crouvisier-Uriona K. et al. Impact of the homogenization process on the structure and antioxidant properties of chitosan-lignin composite films // Food Chemistry. 2017. № 236. P. 120-129. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.094.
3. Espinoza-Acosta J.L., Torres-Chávez P.I., Ramírez-Wong B., López-Saiz C.M., Montaño-Leyva B. Antioxidant, antimicrobial, and antimutagenic properties of technical lignins and their applications // BioResources. 2016. № 11(2). P. 5452-5481.

С. В. Киселев

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПРОВЕДЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ 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-2026-0003.

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.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, КАК НАПОЛНИТЕЛИ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА

Углеродные наночастицы в полимерных композиционных материалах на основе фторопластовых полимеров

Благодаря уникальному сочетанию химической стойкости фторопласта и проводящих/механических свойств углеродных наночастиц (УНЧ), такие нанокомпозиты востребованы в ряде высокотехнологичных отраслей Использование УНЧ позволяет преодолеть ключевые недостатки чистых фторполимеров (такие как высокая ползучесть, диэлектрические свойства и низкая теплопроводность), открывая путь к созданию износостойких, электропроводящих и высокопрочных суперконструкционных нанокомпозитов.

Фторопласты обладают исключительной химической инертностью, несмачиваемостью, широким температурным диапазоном эксплуатации и низким коэффициентом трения. Однако их использование ограничено ползучестью и низкой теплопроводностью. Внедрение углеродных наноразмерных наполнителей эффективно решает эти задачи. В настоящее время широкое распространение получили углеродные нанотрубки (УНТ, одностенныфе и многостенные, обладающие экстремальным аспектным отношением (длина к диаметру), выступающие в роли каркасных армирующих элементов, которые могут эффективно распределять механическую нагрузку внутри фторполимерной матрицы) и графены (графеновые нанопластины – двумерные структуры, благодаря огромной удельной площади поверхности которых, они кардинально увеличивают площадь межфазного контакта и блокируют распространение микротрещин в композитах).

Главная проблема, возникающая при создании таких композитов – низкая поверхностная энергия фторопласта (18 - 22 мН/м), из-за чего он плохо смачивает неполярные УНЧ. Кроме того, УНТ и графены склонны к образованию прочных и

крупных агломератов, что приводит к неравномерности свойств в объеме композита и возникновению концентраторов напряжения на этих агломератах.

Для достижения равномерной дисперсии применяются следующие методы:

1. Химическая функционализация наночастиц: введение на поверхность гидроксильных, карбоксильных или фторсодержащих групп для улучшения адгезии к матрице.

2. Физические методы диспергирования: совместный высокоэнергетический помол порошков в планетарных мельницах, ультразвуковая обработка суспензий, а также использование волновых машин.

Л. Н. Ахметзянова, К. С. Литвиченко, К. А. Мясников, К. А. Фатьянова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РОЛЬ ВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко применяются в конструкциях, работающих во влажных средах: в судостроении, строительстве, авиации. Однако длительный контакт с водой может приводить к ухудшению свойств материала. Существующие композиционные материалы можно разделить на два основных класса: дисперсно-наполненные и непрерывно наполненные. Рассмотрим волокнистый наполнитель, как фактор, определяющий водопоглощение ПКМ [1].

Водопоглощение ПКМ, где в качестве наполнителя используются волокнистые наполнители, зависит от нескольких факторов [2]:

– Капиллярный эффект волокон. Композиты быстрее поглощают воду вдоль оси армирующих волокон, потому что пучки волокон никогда не смачиваются полимером полностью и легко пропускают воду за счёт капиллярного эффекта. То есть, чем хуже адгезия между фазами, тем лучше водопоглощение.

– Природа волокна. Разные типы волокон обеспечивают разные условия для капиллярного проникновения воды в тело композита. Как, например, базальтовое волокно обеспечило лучшие условия для поглощения воды в сравнении со стеклянным волокном.

– Тип переплетения волокон. Разные схемы плетения по-разному формируют структуру армирующего каркаса, из-за чего капиллярный эффект действует по-разному. Чем больше пересечений волокон и чем плотнее они прижаты друг к другу, тем сильнее разрываются непрерывные капиллярные каналы вдоль волокон и тем труднее воде распространяться вглубь композита.

– Замасливатель. Адгезия определяет качество сцепления полимерной матрицы с волокном. Чем хуже адгезия, тем больше остаётся участков с порами и тем легче воде проникать вдоль волокон по капиллярному механизму. Поэтому замасливатель влияет на водопоглощение через изменение адгезии волокон.

– Гидрофобные качества волокон. Чем выше гидрофобность применяемого волокна, тем меньше вода смачивает его и тем слабее идёт капиллярный перенос вдоль него. Чем гидрофобность ниже, тем активнее волокно смачивается и тем сильнее падает прочность композита, что дополнительно создаёт условия для лучшего водопоглощения.

Таким образом, волокнистый наполнитель является активным фактором, определяющим стойкость ПКМ к воздействию воды. Физико-механические характеристики ПКМ напрямую

зависят от свойств волокнистого наполнителя, а эффективность передачи нагрузки между волокном и матрицей определяется состоянием границы раздела «волокно - матрица». Именно по этой границе преимущественно распространяется жидкость, поэтому прочная связь между полимером и наполнителем и свойства межфазной области во многом определяют поведение композита во влажной среде [3].

Руководитель: ст.пр. каф. Наностурктурных, волокнистых и композиционных материалов Дианкина Н.В.

Список литературы

1. Кербер М.Л. Композиционные материалы. СПб.: Профессия, 2008. С. 33-41.
2. Францев М.Э., Кирейнов А.В. Результаты сравнительных испытаний композиционных материалов судостроительного назначения на основе стеклянных и базальтовых волокон на полиэфирном связующем на водопоглощение // Транспортные системы. 2019. № 1 (11). С. 41-48.
3. Кузьмин К.Л. Влияние химического состава и поверхностной модификации на механические свойства алюмосиликатных волокон. Москва, 2017. 148 с.

А. А. Шрайнер, Е. С. Цобкалло

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИКЛИЧЕСКИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫМ ВЫБОРОМ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ

При герниопластике сетчатый трикотажный эндопротез функционирует в условиях непрерывно изменяющейся механической нагрузки. Дыхание, кашель, ходьба, изменение положения тела и колебания внутрибрюшного давления вызывают повторяющиеся деформации передней брюшной стенки. Поэтому клиническая эффективность имплантации определяется не только прочностью сетки, но и её механической совместимостью с окружающими тканями. Послеоперационные вентральные грыжи остаются одной из наиболее распространенных проблем абдоминальной хирургии, ввиду высокого риска возникновения осложнений. Взаимосвязь циклических механических деформаций и функциональных свойств полимерных хирургических эндопротезов для герниопластики является логически важнейшей задачей, связанной с целенаправленным выбором хирургического материала в различных клинических случаях. Она объединяет структурно-функциональный подход к анализу основовязаных полимерных трикотажных медицинских полотен и прикладную биомеханическую оценку медицинского изделия, работающего в напряженно - деформированном состоянии и постоянного взаимодействия с живыми тканями.

Цель работы состоит в установлении деформационных характеристик полипропиленовых сетчатых эндопротезов для их целенаправленного выбора с учётом предполагаемых условий функционирования в различных физиологических условиях.

Материалом исследования служили полипропиленовые сетчатые эндопротезы российского производства фирмы фирмы «Волоть». Образцы подвергали циклическому

воздействию при различных определённых значениях заданной деформации в пределах физиологических параметров. Испытания проводились на приборе «Инстрон -1122». При проведении испытаний и анализе результатов регистрировали форму зависимости, значения деформаций, при которых изменялся характер кривой, и различие показателей при воздействиях во время циклических нагрузок.

Разработаны методики исследования циклических деформационных свойств синтетических хирургических эндопротезов. Установлены наиболее значимые для функциональности циклические деформационные характеристики исследуемых полипропиленовых сетчатых хирургических эндопротезов в условиях, близких к физиологическому функционированию. Показано, что для обоснованного целенаправленного выбора полипропиленового хирургического эндопротеза требуется проведение испытания комплекса механических свойств, включающего как изучение в режиме одноосного растяжения до разрыва, так и циклические испытания с регистрацией остаточной компоненты деформации в определённом диапазоне растяжения. Полученные экспериментальные результаты могут быть рекомендованы для целенаправленного выбора материалов в хирургической практике.

А. А. Козлов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

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 силовременной 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" удаётся 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 значения 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-2026-0003.

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.

Г. Д. Хасанов, Г. С. Кодириён, З. К. Мухиддин

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

НАНОЭМУЛЬГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА, СОДЕРЖАЩИЕ ЭФИРНОЕ МАСЛО *ZIZIPHORA BUNGEANA*

Наноэмульгели представляют собой новые системы, представляющие большой интерес для их использования в качестве систем двойного высвобождения и заменителей жира в пищевых продуктах. Наноэмульгель — это передовая система доставки лекарств, предназначенная для улучшения терапевтических действий липофильных препаратов. Благодаря наноразмерным эмульсиям повышается биодоступность, стабильность и проникновение активных веществ через биологические барьеры [1].

Эфирное масло (ЭМ) зизифоры, полученное из растения *Ziziphora bungeana*, произрастающего на горных склонах Таджикистана, содержит большое количество вторичных метаболитов - моно-, сескви- и дитерпенов и ценится в народной медицине благодаря своим антимикробным, противогрибковым и лечебным свойствам.

Нами, был анализирован состав ЭМ с использованием двух различных систем: газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС): Shimadzu MS QP2010 Ultra с полярной колонкой *RTX-WAX и Varian GC 3800 – Saturn 2002 MS/MS* с неполярной

колонкой RTX-5MS. Состав характеризуется высоким содержанием пулегона и ментона, а также значительным количеством тимола, карвакрола, γ-терпинена и β-цимена [2].

Наноэмульгели ЭМ зизифоры, содержащие низкометиллированный пектин, были приготовлены в соответствии с трехэтапным процессом, который включает приготовление наноэмульсии, пектинового геля и их смеси. Соотношения пектин (П/ЭМ) варьировались в пределах 70/20; 50/50 и 20/70 при концентрациях 0.1-03% для пектина и 3-8 для ЭМ зизифоры и подсолнечного масла.

Для этой цели первичная эмульсия была получена путем добавления к водной фазе поверхностно-активные вещества (*Tween 80* или *Span 20*) и соответствующего количества ЭМ зизифоры с использованием гомогнизатора *Ultraturrax T-50* (*Ika Werke GmbH and Co. KG, Германия*) в течение одной минуты при 2000 об/мин, а затем в течение дополнительных 5 мин при 10000 об/мин. для получения частиц с наименьшим размером. Размер частиц и распределение их размеров (РРЧ) эмульгелей определяли с помощью электронного микроскопа *OLYMPUS DX53 (Япония*). Для проведения анализа эмульгель помещали на предметное стекло микроскопа, предварительно разбавляя образец в 100 раз. Каждый тест проводился не менее в двух повторностях при комнатной температуре. Размер эмульгелей выражался как средневзвешенный по объему диаметр $d_{4.3}$, все расчёты проводили с использованием программы *Excel*.

На основе анализа различных экспериментальных методов (микроскопия, УФ- и ИК-Фурье спектроскопия, реометрия) оценивали влияние обработки и переменный состав на распределение размеров частиц, средний диаметр, кривые течения и физическую стабильность различных полученных эмульгелей. Было обнаружено, что изученные переменные обработки, время перемешивания и скорость вращения не влияют на средний размер частиц эмульгеля, полученные данные и их значения соответствовали параметрам для исходной наноэмульсии.

В заключении подчёркивается важность полученных значений переменных для приготовления различных рецептур по разработке стабильных инновационных продуктов на основе наноэмульгелей.

Список литературы

1. Kelidari M., Abdi-Moghadam Z., Sabzevara T.E., Khajenouri Kh., Shakeri A. Preparation and therapeutic implications of essential oil-based nanoemulsions: A review. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2025. Vol. 255. Article: 114939. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2025.114939.

2. Кодирова Г.С., Бобокалонов Дж.Т., Хасанов Г.Д., Мухиддинов З. К. Сравнительный анализ химического состава эфирного масла *Ziziphora clinopodioides* с помощью ГХ–МС // От растения до лекарственного препарата: Сборник научных статей по материалам Международного научного Симпозиума. Москва, 2025. С. 252-256.

М. О. Фоминенко, Н. С. Лукичева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КАРБОНИЗАЦИИ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Углеродные нетканые материалы (УНМ) применяются в теплоизоляционных и теплозащитных конструкциях благодаря низкой теплопроводности, развитой пористой структуре и термостойкости. Для их получения используют нетканые материалы на основе полиакрилонитрильных (ПАН), полиоксадиазольных (ПОД) и гидратцеллюлозных (ГЦ) волокон. В процессе карбонизации исходный полимерный материал подвергается химическим и структурным изменениям, сопровождающимся потерей массы, усадкой, изменением плотности и пористости, а также формированием углеродной структуры. В результате изменяются физико-структурные характеристики материала, которые определяют его теплофизические свойства. Поэтому целью настоящей работы являлось исследование влияние температуры карбонизации на физические свойства (плотность, пористость) материала.

Анализ плотности и пористости показывает, что характер структурных изменений зависит от вида прекурсора. Для нетканого материала из ГЦ кажущаяся плотность увеличивается с 0,113 г/см³ в исходном состоянии до 0,1547 г/см³ при 700 °С, после чего снижается до 0,1179 и 0,1040 г/см³ при 800 и 900 °С соответственно. Пористость изменяется с 92,33 % для исходного материала до 89,09 % при 700 °С, а затем возрастает до 92,25 и 93,28 % при 800 и 900 °С. Таким образом, после первоначального уплотнения при дальнейшем повышении температуры происходит увеличение порового пространства, что соответствует снижению теплопроводности с 0,036 Вт/(м·К) у некарбонизованного материала до 0,026 Вт/(м·К) при 900 °С.

Для материала из ПОД-прекурсора наблюдается противоположная тенденция. Кажущаяся плотность увеличивается с 0,0929 г/см³ в исходном состоянии до 0,1066, 0,1214 и 0,1408 г/см³ — в карбонизованном при 700, 800 и 900 °С соответственно. При этом пористость полученного при карбонизации 700 °С УВМ, равная 92,42 незначительно отличается от некарбонизованного (исходный НМ из ПОД имеет пористость 92,36 %), а затем уменьшается до 91,66 % при 800 °С и 82,55 % при 900 °С. Следовательно, повышение температуры сопровождается уплотнением структуры материала. При этом коэффициент теплопроводности с повышением температуры КТТО снижается с 0,032 до 0,026 Вт/(м·К) [1], что показывает отсутствие прямой зависимости теплопроводности только от пористости. Существенное влияние оказывают также изменения углеродной структуры и числа контактов между элементами волокнистого каркаса, которые приводят к снижению теплопередачи внутри материала.

Для ПАН структурные изменения выражены слабее. Кажущаяся плотность составляет 0,0592 г/см³ в исходном состоянии и 0,0615, 0,0602 и 0,0583 г/см³ после обработки при 700, 800 и 900 °С. Пористость при этом последовательно возрастает с 95,71 до 96,13, 96,47 и 96,81 %. Увеличение пористости при сохранении близкой плотности сопровождается снижением теплопроводности, наиболее заметным при 900 °С. Это согласуется с ранее установленным влиянием повышения температуры на структуру ПАН-материала [1].

Таким образом, теплопроводность УНМ определяется комплексом взаимосвязанных структурных параметров, изменяющихся в процессе карбонизации, а выбор температуры термообработки является одним из основных факторов формирования требуемых теплофизических свойств материала.

Список литературы

1. Фоминенко М.О. Влияние температуры карбонизации на коэффициент теплопроводности углеродных нетканых материалов // Инновации молодежной науки: тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Часть 2. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2026. С. 104–105.

Е. А. Шестакова[1], О. М. Суворова[2], Н. Н. Сударева[2], Е. Н. Дресвянина[2], Е. М. Гордина[3], Н. Н. Сапрыкина[2], К. А. Колбе[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
[2] Филиал ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт» Институт высокомолекулярных соединений
[3] ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

ГАЛЛУАЗИТ – СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, ИНТЕГРИРУЕМЫХ В РАНЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Для получения современных раневых покрытий (РП) используются различные природные и синтетические биополимеры, что обуславливает их высокие биомедицинские и медицинские свойства. При этом введение в полимерную матрицу систем доставки биологически активных соединений, полипептидных факторов роста, бактерицидных объектов (например, серебра) позволяет улучшить функциональные свойств РП.

Одним из наиболее популярных биополимеров является природный полисахарид хитозан. В качестве модифицирующей добавки в работе предложено использовать галлуазит (ГАЛ) – алюмосиликат в виде полых трубок диаметром около 100 нм и длиной до 1.5 мкм. Такая структура улучшает механические свойства волокон [1]. Наружная поверхность содержит Si, внутренняя – Al, следовательно, ГАЛ обладает большим потенциалом для сорбции биологически активных веществ и может применяться в качестве их систем доставки.

В работе исследовано включение и высвобождение в физиологический раствор образцов белков и терапевтических пептидов с разными характеристиками (молекулярная масса и изоточка). Помимо этого, ГАЛ насыщали нитратом серебра. Термообработка таких образцов при T = 440-450°C переводила Ag из ионной в нейтральную форму в виде наночастиц. Результаты СЭМ продемонстрировали изменение структуры ГАЛ при воздействии кислоты и повышенной температуры.

Получены композиционные волокна на основе хитозана, содержащие 0.5 мас.% ГАЛ, а также волокна, содержащие 0.5 мас% ГАЛ с серебром в ионной форме или в виде наночастиц. Проведена сравнительная оценка антибактериальных свойств волокон. В качестве тест-культур использованы эталонные штаммы бактерий. Выявлена антибактериальная активность всех трех образцов нитей против грамположительных бактерий метициллин-чувствительного штамма *Staphylococcus aureus* ATCC 29213.

Оценку биосовместимости полученных образцов проводили путем исследования пролиферативной активности дермальных фибробластов человека с помощью МТТ-теста. При помощи флуоресцентной микроскопии клетки фибробластов были визуализированы на поверхности волокон. Все образцы эффективно поддерживают адгезию, обеспечивают выживаемость и пролиферацию клеток.

Таким образом, показано, что галлуазит, как система доставки биологически активных соединений, может быть использован при изготовлении композитных волокон с последующим формированием эффективных раневых покрытий.

Список литературы

1. Dobrovol'skaya I.P et al. Polym. Science. Ser A. 2011. 53 (5). P. 382.

Ю. Ю. Вилачева, О. В. Асташкина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР)

Конструкционные композиционные материалы (КМ) с полимерной матрицей в настоящее время активно применяются во многих областях промышленности, чем обусловлена их высокая технологичность и ценные эксплуатационные свойства. В специальных сферах применения востребованы такие характеристики, как радиопрозрачность, атмосфероустойчивость и высокая прочность.

Радиопрозрачные материалы — это конструкционные КМ, которые в заданном диапазоне радиочастот пропускают электромагнитную волну с минимальными отражениями и искажениями от поверхности. Радиопрозрачность характеризуется тангенсом угла диэлектрических потерь (tg δ) — показатель энергетических потерь в материале; и диэлектрической проницаемостью (ε) — степень искажения электромагнитного поля в материале.

Для производства радиопрозрачных КМ в качестве непрерывных наполнителей, сочетающих в себе высокую прочность и низкую диэлектрическую проницаемость, используются стеклянные, кварцевые и кремнезёмные волокна. Самым массовым и недорогим наполнителем является алюмоборосиликатное волокно (E-glass) с ε=6,0–6,5. Такой наполнитель применяется в антенных укрытиях наземных РЛС, судовых надстройках, мачтах связи. Магнийалюмосиликатное стекловолокно (S-glass) благодаря высоким физико-механическим характеристикам (прочность до 4590 МПа, модуль упругости 88–91 ГПа) применяется в нагруженных радиопрозрачных конструкциях (например, обтекателях летательных аппаратов (ЛА)). Диэлектрическая проницаемость таких волокон несколько ниже, и составляет ε=4,5–5,0. Лучшим армирующим наполнителем по диэлектрическим характеристикам (ε=3,74-3,78, tg δ≈0,0002) является кварцевое волокно. Перспективным подходом в области материаловедения является получение гибридной ткани из кварцевых волокон (высокая радиопрозрачность) и стекловолокон S-glass (высокая прочность). Это позволяет оптимизировать соотношение «диэлектрические свойства — механическая прочность» под конкретное применение.

Эпоксидная матрица обеспечивает целостность композита, передачу нагрузки между волокнами и защиту от внешних воздействий. Её диэлектрические характеристики в среднем составляют ε≈3,0–4,0, tg δ≈0,015–0,020. Модификация эпоксидной матрицы позволяет снизить ε и одновременно улучшить механические свойства. В качестве модификаторов эпоксидного связующего используют полые стеклянные микросферы (диаметром от 20 до 120 мкм, ε=2,23–2,46, tg δ=0,007–0,018) с получением синтактных пен. Экстремально низкими диэлектрическими

характеристиками обладает аэросил (пирогенный кремнезем, SiO_2) с ε≈1,1–2,0, и пористостью до 95%.

В настоящее время в промышленности популярность приобрели сэндвичевые КМ. Они используются для производства большинства обтекателей антенн и ЛА. Заполнителями радиопрозрачных сэндвичевых КМ являются: стеклосотопласты (ε≈1,2–1,8), арамидные соты (ε≈1,1–1,4), вспененные поливинилхлориды (ε≈1,2–1,5) и другие виды конструкционных пенопластов.

Таким образом, в результате исследования определены основные материалы и модификаторы для получения и исследования свойств радиопрозрачных КМ.

В. В. Евдокимов, И. М. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВОПОЛАГАЮЩИХ ВЯЗКОУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ 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 $\phi_{\varepsilon t}$ 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_∞ - асимптотический модуль вязкоупругости; A_ε - структурно-релаксационный параметр интенсивности; τ_ε - релаксационное время, определяющее половину релаксационного процесса при деформации ε).

Аналогично, в основе математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов лежит аппроксимация обобщенной кривой податливости $D_{\sigma t}$ нормированной функцией $\phi_{\sigma t}$ 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_∞ - асимптотическая равновесная

податливость; A_σ - структурно-деформационный параметр интенсивности; τ_σ - деформационное время, определяющее половину деформационного процесса при напряжении σ).

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_∞ - асимптотические модули релаксации:

$$E_0 = \lim_{t\to 0} E_{\varepsilon t}, \quad E_\infty = \lim_{t\to\infty} E_{\varepsilon t}; \tag{5}$$

- D_0, D_∞ - асимптотические податливости:

$$D_0 = \lim_{t\to 0} D_{\sigma t}, \quad D_\infty = \lim_{t\to\infty} D_{\sigma t}; \tag{6}$$

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

- структурно-деформационный параметр A_σ 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 $f_{\sigma_1\sigma} = \ln(t_1/\tau_\sigma)$ (характеризующая сдвиги деформационных кривых до слияния с обобщенной деформационной кривой), содержащаяся в деформационном аргументе-функционале

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

- релаксационная функция временных сдвигов $f_{\varepsilon_1\varepsilon} = \ln(t_1/\tau_\varepsilon)$ (характеризующая сдвиги релаксационных кривых до слияния с обобщенной релаксационной кривой), содержащаяся в релаксационном аргументе-функционале

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

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-2026-0003.

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.

К. А. Ерзунов, А. В. Трегубов, М. Р. Гиниятов, О. И. Одинцова

Ивановский государственный химико-технологический университет

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ И ФТОРСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА

В последние годы одним из основных трендов в текстильной промышленности является переход к разработке «умных» текстильных материалов, обеспечивающих комплексную защиту от различного вида внешнего воздействия. Особенно актуальны ткани и изделия, обладающие антибактериальной активностью, повышенной прочностью, а также способностью к самоочищению за счет способности к водо-, масло-, кровеотталкиванию. Максимальное повышение барьерных свойств текстильных материалов может быть достигнуто при одновременной реализации двух ключевых подходов к модификации волокнистой поверхности. Во-первых, химическая модификация, которая направлена на минимизацию поверхностной энергии материала. С этой целью используются различные гидрофобизирующие препараты. Во-вторых, формирование на поверхности волокон развитой иерархической структуры, обладающей микро- и наношероховатостью.

Цель исследования заключалась в разработке состава сложной полимерной композиции на основе фторсодержащего препарата (ФАП) и наночастиц (НЧ) оксидов металлов для придания текстильным материалам различного волокнистого состава антибактериальных, масло-, водо-, кровеотталкивающих свойств. Таким образом, планируется сформировать на поверхности ткани низкоэнергетическое покрытие с наличием шероховатости на микро- и наноуровнях за счет использования НЧ оксидов металлов, таких как НЧ ZnO, MgO, CuO. В качестве объектов исследования использовали смесовые хлопкополиэфирные текстильные материалы, а таже полиэфирную ткань. Пропиточная ванна включала фторсодержащий препарат в различной концентрации, наночастицы оксидов металлов, вводимые в систему в виде порошка, а также сложный кислый катализатор. Исследуемые материалы обрабатывали готовым составом посредством пропитки с последующим отжимом и сушкой. Методом атомно-силовой микроскопии показано, что введение в отделочную композицию наночастиц оксида магния и оксида меди позволяет значительно повысить шероховатость волокнистого материала.

Барьерные свойства обработанного материала оценивали по значениям краевого угла смачивания поверхности ткани различными жидкостями, а также степени проницаемости ткани микроорганизмами. В результате отделки текстильных материалов достигаются значения краевых углов смачивания поверхности каплями воды от 120 до 150^0, что позволяет сделать вывод о сверхгидрофобном характере сформированного покрытия. При значительном снижении концентрации ФАП с одновременным увеличением содержания НЧ подобный эффект сохраняется. Таким образом, наблюдается синергический эффект компонентов отделочного состава. Обработанные ткани отличаются минимальной капиллярностью и максимальной стойкостью к увлажнению. Исследование краевого угла смачивания ткани каплей крови продемонстрировало эффективность текстильного материала к проникновению биологических жидкостей ($113\text{-}133^0$). Вместе с этим наблюдается высокая стойкость тканей, модифицированных составами с включением НЧ CuO и MgO, к проницаемости грамположительных (S. Aureus) и грамотрицательных (E. coli) бактерий.

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

А. П. Манькова, Е. В. Саклакова, Н. Ф. Богдан, О. В. Асташкина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

АКТИВИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ВОЛОКНА ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ

Активированные углеродные волокна — это тонкие (диаметром от 5 до 20 мкм) углеродные нити, обладающие высокоразвитой пористой структурой. В отличие от порошковых или гранулированных углей, они состоят из хаотично переплетенных микрокристаллитов графитоподобного углерода, образующих волокнистый каркас. Производство АУВ включает три ключевых этапа:1. формование исходного полимерного волокна; 2. карбонизация: нагрев в инертной среде при температуре 600 - 1000 °С с целью образование углеродного каркаса и удалению примесей; 3. активация (физическая или химическая): частичное травление углерода под действием водяного пара, углекислого газа (CO_2) или химических реагентов (KOH, H_3 PO_4 и др.) при температуре 800 - 900 °С, что приводит к образованию пористой структуры.

В АУВ преобладают микропоры (до 2 нм), которые выходят непосредственно на поверхность волокна. В них практически отсутствуют транспортные макро- и мезопоры, характерные для гранулированных углей. Благодаря прямому доступу к микропорам, путь диффузии молекул загрязнителя минимален. Скорость поглощения (сорбции и десорбции) у АУВ в десятки и сотни раз выше, чем у зернистых углей. Эффективная площадь поверхности АУВ достигает 1000 - 2500 м²/г, что обеспечивает колоссальную поглотительную емкость. Волокнистая природа позволяет выпускать материал в виде тканей, войлока, бумаги, лент или нетканых материалов. Это упрощает применение таких материалов, исключает слеживание сорбента и унос угольной пыли потоком жидкости или газа.

Нанесение металлов (или их оксидов) превращает АУВ из простого физического сорбента в хемосорбент и катализатор. Сочетание транспортной доступности пор волокна и химической активности металлов создает выраженный синергетический эффект. Структура пор АУВ идеально подходит для закрепления наночастиц металлов. Матрица изолирует их друг от друга, предотвращая спекание (агрегацию) и сохраняя максимальную площадь активных центров.

Для лучшего закрепления частиц металлов на поверхности АУВ, волокна могут быть подвергнуты предварительной модификации, например, кислотами, для снижения гидрофобности и образованию активных центров, на которых будут сорбироваться металлические ионы. Далее модификация металлами может быть проведена несколькими методами: адсорбция из растворов; пропитка растворами с последующим восстановлением под действием температуры или восстановителя; электрохимическое осаждение под действием тока; золь-гель технология

Введение наночастиц серебра, меди, цинка и др в структуру АУВ является актуальной задачей, так как в современных условиях, все больше растет риск образования резистентных к большинству видов антибиотиков супер-бактерий. Тогда как серебро и медь, встраиваясь в клеточную структуру, прекращают жизненный цикл клетки и на данном этапе клетки бактерий не адаптированы к данному воздействию, что приводит к их гибели.

Н. А. Воронина, О. И. Гладунова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА «САМОЗАЛЕЧИВАНИЯ» ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ СВМПЭ ВОЛОКОН МЕТОДОМ СОРБЦИОННОГО АНАЛИЗА

Ранее нами был предложен способ модификации поверхности сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых (СВМПЭ) волокон обработкой ультрафиолетовым (УФ) излучением. Данная модификация привела к двукратному улучшению капиллярного поднятия полимерных связующих по СВМПЭ волокнам, что свидетельствует о значительном улучшении смачиваемости поверхности [1].

Согласно литературным данным [2], эффект от некоторых видов модификации поверхности синтетических волокон может со временем ослабевать. В частности, плазменная обработка даёт лишь кратковременный эффект из-за релаксации напряжений в поверхностном слое полимера. В связи с этим возник вопрос о стабильности УФ обработки во времени, что привело к необходимости дополнительных исследований.

Для оценки изменения свойств модифицированной поверхности СВМПЭ волокон во времени был проведён эксперимент по измерению сорбционной ёмкости волокон по парам толуола в статическом режиме. Толуол, будучи органическим растворителем с хорошей проникающей способностью, позволяет оценить дефектность и доступность пористой структуры на поверхности волокна.

Как для исходных, так и для обработанных УФ излучением СВМПЭ волокон марок ПЭ-1 (Россия) и ПЭ-2 (Китай) процесс сорбции достигал максимального значения (плато) примерно через 10 суток экспозиции. Количество поглощённых паров толуола у модифицированных СВМПЭ образцов оказалась значительно выше, чем у исходных: для волокон ПЭ-1 прирост составил 55%, а для волокон ПЭ-2 — 50%.

Одним из свидетельств протекания процесса «самозалечивания» стала последующая десорбция молекул толуола. С течением времени масса сорбата уменьшилась. Вероятно, это связано с сокращения размеров поверхностных дефектов в процессе их релаксации. Начало десорбционного процесса зафиксировано через 40 суток для обоих типов СВМПЭ волокон. Полное восстановление исходных показателей сорбции наблюдалось через 110 суток для СВМПЭ волокон марки ПЭ-1 и 119 суток для СВМПЭ волокон марки ПЭ-2.

Можно предположить, что разница в продолжительности полного восстановления поверхностного слоя СВМПЭ волокон ПЭ-1 и ПЭ-2 обусловлены отличиями в параметрах их синтеза, а именно молекулярной массой полимера, природой катализатора и содержанием примесей, способных влиять на скорость структурной перестройки поверхностного слоя.

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. Гришанова И.А., Абдуллин И.Ш., Абуталипова Л.Н., [и др.] Влияние ультрафиолетового излучения на поверхностные свойства модифицированных сверхмодульных полиэтиленовых волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16 (2). С. 102-104.

А. А. Платунова, И. А. Зуев

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТКАЦКИХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Структура и эксплуатационные свойства тканей определяются их волокнистым составом, линейной плотностью пряжи и видом ткацкого переплетения, которое является основным характеризующим критерием для процесса ткачества. Современная классификация разделяет ткацкие переплетения на следующие виды: простые или основные переплетения, такие как полотняное, саржевое и сатиново-атласное переплетения, и различные группы производных переплетений, которые строятся на основе основных.

Наиболее простым с точки зрения пространственного и геометрического строения является полотняное переплетение, в котором нити основы и утка последовательно пересекают друг друга. Благодаря этому создаётся однородное в каждой точке и наиболее стабильное полотно, однако по сравнению с другими переплетениями обладающее меньшими пластическими характеристиками.

Более сложными с точки зрения строения являются саржевые переплетения, формируемые сдвигом длинных перекрытий, образующих характерный диагональный узор на поверхности ткани, что обеспечивает повышенную пластичность, эластичность и износостойкость.

Сатиново-атласные переплетения, обладающие самыми протяжёнными прокидками нитей, создают гладкую поверхность с интенсивным светоотражением. Несмотря на то, что такая структура несколько снижает механическую прочность материала, она обеспечивает мминимальную деформацию под нагрузками и высокую драпируемость.

На базе простых переплетений построены многочисленные производственные, которые расширяют функциональные и декоративные возможности текстиля. Мелкоузорчатые структуры, такие как рогожка и креп, создают более сложную рельефную фактуру.

Так же существуют многослойные переплетения, позволяющие формировать материалы с повышенной плотностью и теплоизоляцией, а также ткани со сложным многослойным армированием, позволяющие создавать многофункциональные препреги для композитных материалов.

Исходя из вышеуказанного можно сделать вывод, что процесс подбора ткацкого переплетения является одним из основных процессов проектирования текстильных полотен и должен быть основан на результирующих свойствах готового продукта.

Научный руководитель: профессор кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса, доктор технических наук Анисимов Андрей Валентинович.

Список литературы

1. Лаврентьева Е.П. Разработка научных основ и технологий производства текстильных материалов новых структур для специальной одежды и средств индивидуальной защиты: специальность 05.19.02 "Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья" : диссертация на соискание ученой степени доктора наук / Лаврентьева Екатерина Петровна. Москва, 2016. 889 с.

А. А. Козлов, Т. Е. Бальнов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ ЦИФРОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ 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]

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

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]

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

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

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

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

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 их них // 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.

Ю. Ю. Вилачева, Л. Н. Ахметзянова, О. И. Гладунова, О. В. Асташкина

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Современные тенденции развития науки и техники в Мире привели к широкому использованию радиоэлектронных средств во всех сферах человеческой деятельности, что в свою очередь способствовало формированию насыщенной техногенной электромагнитной обстановки. Создаваемое электромагнитное излучение во многих случаях негативно сказывается на работе высокочувствительной электронной аппаратуры, нарушает работу навигационных систем, а также не самым благоприятным образом отражается на здоровье человека. Поэтому защита от электромагнитного излучения является актуальной задачей и специализированные полимерные композиционные материалы (ПКМ) незаменимы для решения этой задачи. Существует два основных класса таких материалов, различающихся по принципу взаимодействия с падающим электромагнитным излучением: радиопрозрачные и радиопоглощающие покрытия и конструкции. Радиопрозрачные композиты – это диэлектрические материалы, которые не изменяют существенным образом амплитуду и фазу проходящих сквозь них электромагнитных волн радиочастотного диапазона и в отличие от металлов, которые отражают радиоволны, эти ПКМ обеспечивают их пропускание с минимальными потерями энергии. Диэлектрическая проницаемость таких материалов лежит в диапазоне от 3 до 4,5, а тангенс угла диэлектрических потерь менее 0,02. Именно эти параметры и определяют способность материала пропускать радиосигналы без значительного ослабления.

В работе в качестве основы для создания радиопрозрачных ПКМ использовали стеклоткань (3 слоя), связующим служила эпоксидная система марки Lorit. Стекловолокно E-glass является наиболее распространенным армирующим материалом для радиопрозрачных композитов, что определяется доступностью сырья, хорошими механическими свойствами (прочность и модуль упругости), стабильностью диэлектрических свойств в широком диапазоне температур, химической стойкостью, влагостойкостью при эксплуатации. Диэлектрическая проницаемость исходной стекло ткани составляет примерно 6,0 - 6,5. Эпоксидные смолы широко применяются в производстве радиопрозрачных ПКМ благодаря оптимальному сочетанию диэлектрических и механических свойств. Композитные материалы на основе стеклоткани в качестве наполнителя должны обладать устойчивостью к дождевой и пылевой эрозии при полете, механической прочностью для противодействия ударным нагрузкам, термостойкостью при аэродинамическом нагреве поверхности, малой массой для снижения нагрузки на конструкцию и обеспечивать при этом ослабление радиосигнала менее 1 дБ.

В качестве дисперсных наполнителей, способствующих снижению массы ПКМ и улучшению радиопрозрачных свойств, использовали полые стеклянные микросферы (ПСМС), а также неорганические соединения оксид кремния и гидроокись алюминия,

которые способствовали лучшему диспергированию ПСМС, одним из наиболее ценных свойств которых является их радиопрозрачность.

Характеристики композиционных материалов изучали в диапазоне частот 7,05-10,0 ГГц. Проведенные исследования показали снижение диэлектрической проницаемости до 3,60 - 3,45, против 4,20 для стеклопластика без дисперсных добавок. Установлено, что диэлектрическая проницаемость предложенной системы зависит от соотношения ПСМС и гидроксида алюминия. Таким образом проведённые первичные исследования показали перспективность применения предложенной системы для получения радиопрозрачных ПКМ.

М. М. Цыганков[1], Т. Д. Шидловский[2], А. В. Труевцев[3]

[1] Национальный исследовательский университет ИТМО
[2] Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук
[3] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

К ПРИМЕНЕНИЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРИКОТАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Машинное обучение (МО) и искусственный интеллект (ИИ) сегодня развиваются очень стремительно. Благодаря прогрессу в области архитектурных решений и оптимизации вычислений, МО и ИИ начали широко применяться в промышленности. Несмотря на это, внедрение ИИ в сферу трикотажного производства еще не получило значительного распространения, хотя уже сегодня оно может решать ряд прикладных задач, снижающих издержки предприятий, расширяющих ассортимент и выполняющих анализ рынка, повышающих скорость и качество изготовления продукции.

Компьютерное зрение – область ИИ, которая автоматически анализирует визуальные данные. В процессе вязания трикотажного полотна может возникать ряд дефектов – спуск петель, дыры, неровнота вязания, перекосы петельной структуры. Весь ряд перечисленных ошибок выражен на полотне визуально. Таким образом, современные свёрточные нейронные сети (CNN) могут применяться для механизмов классификации и детекции с целью контроля качества полуфабриката или готового изделия. Во время производства также можно использовать CNN для двухэтапной системы программирования вязального оборудования – первый этап состоит из преобразования готового фото в точную графическую запись переплетения, учитывающую основные технологические параметры полотна. После этого идет перевод данных на язык, понятный для вязальной машины. Таким образом можно вырабатывать не только полотна, но и полурегулярные и регулярные изделия.

Генеративно-состязательные сети (GAN), состоящие из генератора и дискриминатора, могут создавать новые цветовые и композиционные решения с целью расширения ассортимента производителя. Однако, при генерации изображения GAN может не учесть физической структуры переплетения, его поведения на теле – например растяжимость эластичных переплетений и их поведение на теле человека. С целью решения данной проблемы в GAN могут быть вшиты физические ограничения (либо в саму функцию потерь модели, содержащей дифференциальные уравнения механики петельной структуры, либо через отдельную физико-информированную нейронную сеть, которая будет анализировать корректность полученных изображений).

С экономической стороны классические методы МО и анализа данных могут выстроить размерную матрицу бренда с целью минимизации складских остатков как готовой продукции, так и требуемого для изготовления сырья. Более того, они могут применяться и в классических бизнес-задачах: прогнозирование оттока клиентов, их привлечение и создание рекомендательных систем.

Таким образом, МО и ИИ уже применяются для решения экономических задач. Однако при всём их многообразии, конкретное направление исследовательской и технической деятельности на стыке менеджмента и технологии трикотажа пока не развивается. Данное направление на стыке двух наук значительно облегчит работу технологов производства, снизит влияние человеческого фактора в части производственных циклов и увеличит прибыль предприятия.

А. Г. Макаров, И. М. Егоров

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вариант 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 взаимообратными 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-2026-0003.

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.

А. А. Цветков[1], Е. С. Сашина[2]

[1] ООО «ЛИРСОТ»
[2] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ГИДРАТЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ВОЛОКНА ИЗ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ДИМЕТИЛАЦЕТАМИД-LiCl

Растворяющая система диметилацетамид (ДМАА)-LiCl известна как эффективный растворитель для высокоупорядоченных полимеров, и в том числе для целлюлозы. Способ получения гидратцеллюлозных волокон из растворов в данной системе 1[] может послужить основой для разработки промышленной технологии, на основе научного анализа сведений о физико-химических свойствах этих растворов и структурных свойствах полученных волокон.

Цель исследований – установление основных закономерностей при растворении и формовании растворов древесной целлюлозы в ДМАА-LiCl, определяющих структуру и свойства сформованных из этих растворов гидратцеллюлозных волокон.

Использована целлюлоза лиственная из отходов древесины со степенью полимеризации 1095, влажностью не более 20 %, степенью белизны не менее 87 % с содержанием альфа-целлюлозы 84 %, пентозанов 8,5 %, механической прочностью при размоле 60о ШР, разрывной длиной не менее 7,5 км, индексом сопротивления раздиру не менее 6,0 мН·м2/г.

Хлорид лития, N,N-диметилацетамид, серную кислоту использовали марки х.ч. от Sigma Aldrich.

Предварительно измельченную целлюлозу активировали согласно [1] и растворяли в смеси ДМАА-LiCl с добавлением этиленгликоля.

Нить формовали на лабораторной прядильной установке из раствора с концентрацией целлюлозы 4-4,5 % мокрым способом через фильеру с диаметром

отверстий 0,08 мм в водную осадительную ванну. Сформованную нить сначала подвергали ориентационной вытяжке на 10 %, отмывали от остатков растворителя, высушивали при температуре 105°С.

Вязкость растворов изучали на ротационном вискозиметре Brookfield модели HBDV-II+CP с системой «цилиндр-цилиндр». Размеры частиц в растворах исследовали при помощи анализатора Zetasizer Nano с программой DynaLS. ИК-Фурье спектры регистрировали на спектрометре Shimadzu FTIR – 8400S в таблетках KBr. Рентгеноструктурный анализ проводили на порошковом рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000 S. Микрофотографии волокон получали при помощи сканирующего электронного микроскопа Sigma VP ZEISS.

Разрывную нагрузку и удлинение определяли на разрывной машине Instron 1144.

Термогравиметрический и дифференциальный калориметрический анализ образцов волокон проводили при помощи синхронного термоанализатора DZ-STA200.

Установлено, что в разбавленных растворах целлюлоза диспергирована до единичных макромолекул, в растворах концентрацией 4-4,5 % масс. появляются крупные рассеивающие ассоциаты. Раствор демонстрирует псевдопластическое поведение, характерное для растворов целлюлозы.

ИК-спектр волокон характерен для конформации целлюлозы II. Индекс кристалличности, рассчитанный по данным ИКС, составил 0,92 отн. ед., по результатам рентгеновской дифракции 34 %. Согласно данным термического анализа, волокна остаются стабильными до 295 ºС, что характерно для высокоупорядоченных образцов целлюллозы.

Разрывная нагрузка составила 20-26 сН/текс, удлинение при разрыве порядка 12 %. Волокна имеют гладкий гриф, блеск, равномерно окрашиваются в средние и интенсивные тона и рекомендуются к масштабному применению в текстильной и химической промышленности.

Список литературы

1. Калачева А.В., Мусин Р.Р., Мусина Т.К., Полещикова Н.В., Радишевский М.Б., Строева И.В., Цветков А.А. Патент RU 2805062. Способ получения целлюлозной нити. 2023.

А. А. Платунова, И. А. Зуев

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СМЕСОВЫЕ И ГИБРИДНЫЕ ТКАНИ: СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Понятие о соединении двух или более видов волокнистого сырья в одном текстильном материале является широко известной и изученной практикой в текстильной промышленности. Однако существует разница между различными типами и видами смешения, которые порождают два принципиально разных технологических подхода в процессе ткачества – смесовые и гибридные ткани.

Под смесовыми тканями **понимают** текстильное полотно, выработанное из **смесовой пряжи**, в которой два или более видов волокон различного химического состава или происхождения (например, хлопок и полиэфир) объединены на этапе

прядильного производства (рыхления, смешивания и прочеса) до формирования единой нити. В результате получается высокооднородная смесь, где распределение разнородных волокон носит статистический характер по всему объему пряжи.

Под гибридными тканями понимают текстильное полотно, структура которого сформирована путем **переплетения двух или более систем нитей**, различающихся по химическому составу, физико-механическим или функциональным свойствам (например, углеродные нити в основе и арамидные в утке, или мононити нейлона и хлопковая пряжа). Интеграция компонентов происходит непосредственно на этапе **ткачества** (или вязания), при этом каждая нить внутри структуры сохраняет свою монокомпонентную индивидуальность.

В *смесовой ткани* волокна работают совместно как единый конгломерат за счет сил трения внутри пряжи. В *гибридной ткани* каждая система нитей работает независимо в соответствии со своей диаграммой напряжения-деформации, обеспечивая избирательное восприятие нагрузок (например, арамид гасит ударную волну, а углерод держит жесткость каркаса).

Гибридные ткани позволяют создавать направленные физико-механические характеристики (задавать прочность строго по утку или по основе), что критично для авиастроения, автомобилестроения и производства СИЗ. Смесовые ткани ориентированы на достижение эксплуатационного и тактильного комфорта в гражданской одежде.

Перспективы развития гибридных и смесовых тканей связаны с созданием функциональных материалов с антибактериальными, антистатическими, терморегулирующими и влагоотводящими свойствами, а также с использованием переработанных и биоразлагаемых волокон в целях снижения экологической нагрузки текстильной отрасли.

Научный руководитель: профессор кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов им. А.И. Меоса, доктор технических наук Анисимов Андрей Валентинович.

Список литературы

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити): Учебник для вузов. 2-е издание. Москва: Легпромбытиздат, 1989. 352 с.

2. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение: Учебники и учеб, пособия для студентов высш. учеб, заведений. Москва: Колос, 2011. 360 с. ISBN 978-5-9532-0619-8.

М. С. Переход, А. Кухаренко, З. Б. Йидег

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗГРАНИЧЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ

Взаимодействие материалов с влагой существенно влияет на их массу и эксплуатационные характеристики. При изучении волокнистых материалов и

полимерных композитов критически важно разграничивать ключевые параметры, описывающие поведение влаги в структуре материала. Влажность отражает текущее количество влаги в материале – это характеристика состояния образца на конкретный момент времени. Водопоглощение описывает процесс поглощения жидкой воды при непосредственном контакте с ней, и условия его определения, а также механизм воздействия влаги принципиально отличаются от оценки влажности.

В рамках нашего исследования влагопоглощение выступает как обобщающее понятие, охватывающее поступление влаги в материал в разных формах, тогда как водопоглощение – более узкая характеристика, относящаяся именно к воздействию жидкой воды. Для полимерных композиционных материалов степень водопоглощения определяется структурой материала и спецификой взаимодействия его компонентов с водной средой.

Целью работы стало изучение изменения массы волокнистых материалов, отверждённых смол и композиционных материалов при разной продолжительности контакта с водой. В качестве объектов исследования выступали волокнистые материалы – базальтовые, фторопластовые, СВМПЭ и полиамидные нити, а также отверждённые смолы ЭТ‑2 и ЭТ‑4 и композиционные материалы на их основе. Методика испытаний включала предварительную подготовку образцов – сушку, охлаждение и взвешивание, после чего образцы полностью погружали в воду при комнатной температуре. Изменение массы определяли через 24 часа, 7 и 14 суток, при этом перед каждым взвешиванием с поверхности образцов удаляли излишки воды. Эксперимент показал, что разные материалы демонстрируют неодинаковую динамику изменения массы при контакте с водой: наиболее выраженное изменение массы зафиксировано у волокнистых материалов, тогда как отверждённые смолы и композиционные материалы характеризовались значительно меньшим приростом массы. При увеличении продолжительности выдержки характер изменения массы отдельных видов волокон различался и не подчинялся единой временной зависимости, а для композиционных материалов прирост массы в течение всего исследуемого периода оставался относительно небольшим по сравнению с отдельными волокнистыми компонентами. Полученные данные подтверждают необходимость чёткого разграничения понятий «влажность» и «водопоглощение» при оценке свойств волокнистых материалов и композитов. В проведённом эксперименте образцы находились в прямом контакте с жидкой водой, поэтому изучаемым параметром являлось именно водопоглощение, в то время как влажность характеризует исходное содержание влаги в образцах до начала испытаний. Разделение этих характеристик позволяет точнее интерпретировать результаты исследований и адекватно оценивать поведение материалов в различных условиях воздействия влаги.

Руководитель: ст.пр. каф. наноструктурных. волокнистых и композиционных материалов Дианкина Н.В.

П. С. Пушкарский, О. И. Гладунова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Ферромагнитные частицы характеризуются способностью к радиопоглощению, обусловленной преимущественно магнитными и диэлектрическими потерями в материале. Эффективность таких материалов при этом определяется степенью однородности распределения частиц.

Для синтеза ферромагнитных частиц используют керамический метод, соосаждение, гидротермальный метод, распылительную сушку и другие подходы [1]. Несмотря на то что каждый из методов имеет свои ограничения, золь-гель метод благодаря ряду преимуществ позволяет целенаправленно управлять составом, формой, размером частиц и морфологией продукта.

К основным преимуществам золь-гель метода следует отнести: точный контроль стехиометрии, что особенно важно для многокомпонентных ферритов; возможность введения легирующих добавок на стадии золя; сравнительно низкую температуру термообработки (обычно 500-900 °C) по сравнению с традиционной керамической технологией; возможность получения наноразмерных порошков [2].

Однако метод не лишен и недостатков. К ним относятся: длительность процесса, включающего гидролиз, поликонденсацию, гелеобразование, старение, сушку и отжиг; высокая чувствительность к pH, температуре, влажности и скорости удаления растворителя; необходимость четкого контроля температуры на всех стадиях, особенно при получении ксерогеля, поскольку даже небольшие отклонения приводят к неоднородности структуры и фазового состава.

Особое внимание при синтезе следует уделять температурному режиму. На стадии гидролиза температура определяет скорость формирования золя и его вязкость. Если температура недостаточна, гидролиз протекает неполно, что приводит к неоднородности геля по составу и структуре. При слишком сильном нагреве есть риск преждевременной кристаллизации и потери наноразмерности. Поэтому подбор и поддержание оптимальной температуры на каждом этапе необходимы для получения однородного геля, сохранения наноразмерного состояния и достижения заданных свойств конечного продукта.

В результате золь-гель синтеза после испарения избытка растворителя образовалась очень вязкая масса. При вытяжке и исследовании этой массы под микроскопом в ней была обнаружена упорядоченная нитевидная структура длиной 852,2 мкм и шириной 12,2 мкм. Помимо этого, в массе присутствуют округлые включения комплексов ферромагнитов, заключённых в оболочку из глицерина: их диаметр составляет 3,2 мкм (доля около 60%), а также включения размером от 6,3 до 21,8 мкм.

Список литературы

1. Попков В. Ферриты — фавориты: как ученые создают функциональные материалы для радиоэлектроники и энергетики [Электронный ресурс] // Наука.рф. URL: https://наука.рф/journal/ferrity-favority-kak-uchenye-sozdayut-funktsionalnye-materialy-dlya-radioelektroniki-i-energetiki/ (дата обращения: 23.09.2026).

2. Sutka A., Mezinskis G. Sol-gel auto-combustion synthesis of spinel-type ferrite nanomaterials // Frontiers of Materials Science. 2012. Vol. 6. № 2. P. 128-141.

В. И. Вагнер, М. А. Егорова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ 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].

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

где t - время, σ_t - напряжение, ε_t - деформация, E_∞ - 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]:

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

ИВ (интеграл вероятностей, характеризующий нормальное распределение);

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

ГТ (гиперболический тангенс);

$$\varphi_t = 1 - e^{-\left(t/\tau\right)^k} \;- \qquad (4)$$

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

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

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

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

Наличие нескольких математических моделей, в которых применяются разные подынтегральные функции, оправдано и позволяет получать результаты релаксационно-восстановительных прогнозов, независящие 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-2026-0003.

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.

О. И. Одинцова, В. Ю. Гришина, О. П.Смирнова, О. В.Козлова

Ивановский государственный химико-технологический университет

РАЗРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Разработки и внедрение российских технологий производства текстильных материалов с комплексом функциональных свойств обусловлены необходимостью обеспечения технологической независимости в сегменте защитной и специализированной одежды, а также ростом внутреннего спроса на отечественные решения для экстремальных и профессиональных сред. В условиях ограниченной доступности импортных функциональных отделочных материалов, мембран и полимерных композиций возрастает роль отечественных технологических решений, обеспечивающих достижение заданного уровня эксплуатационных свойств посредством целенаправленной модификации структуры текстильного материала и использования доступного сырья российского производства.

Цель работы включала создание композиций и технологий их применения для функционализации текстильных материалов различного волокнистого состава с использованием водных дисперсий акриловых и уретановых полимеров, а также синтетических, искусственных и природных полиэлектролитов.

Одним из перспективных направлений является создание многофункциональных многослойных текстильных материалов с комплексом защитных свойств – водостойкость, теплозащита, паропроницаемость, ИК-маскировка.

Разработаны полимерно-клеевые композиции (ПКК) на основе российских ВДАП без применения органических растворителей, а также технология получения дублированных волокнистых материалов (ДВМ) с мембранными свойствами. Установлена возможность регулирования паропроницаемости и водоотталкивающих свойств посредством варьирования состава и последовательности формированияслоев пакета материала. Показано, что максимальной паропроницаемостью (от 20000 до 36000 г/м^2/24 час) и требуемыми показателями водоотталкивания обладает ДВМ, полученный с использованием водной полимерно-клеевые композиции на основе (мет)акрилового сополимера Рузина-33 и минеральной добавки – каолина.

Формирование нано- и микроконтейнеров, предназначенных для инкапсулирования функциональных веществ, представляет собой одно из приоритетных направлений развития наукоёмких нанотехнологий. Текстильные материалы с антибактериальными свойствами получены при использовании микрокапсулированных текстильных вспомогательных веществ. Разработан протокол синтеза капсул с включением в ядро масла прополиса, подобран эмульгатор и биосовместимые оболочкоформирующие полиэлектролиты. Показана антибактериальная активность обработанных защитных целлюлозных материалов.

Разработаны технологии ароматерапевтической и акарицидно-репеллентной отделки текстильных материалов и изделий, успешно внедрённые в промышленное производство. Костюмы «Барьер-Инсекто У» с акарицидно-репеллентными свойствами» выпущены в условиях ООО «Объединение «Специальный текстиль» г. Шуя. Научную основу данных технологий составляют исследования в области создания устойчивых микрокапсулированных систем с применением синтетических и природных полиэлектролитов.

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

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ИОННООБМЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Пористые композиционные материалы на основе поливинилового спирта (ПВС) представляют интерес для получения искусственных почвенных субстратов. Возможность регулирования пористой структуры и введения функциональных наполнителей позволяет рассматривать такие материалы в качестве основы для систем с заданными свойствами. Ранее были исследованы условия сшивки ПВС и влияние состава композиции на характеристики получаемых пористых материалов.

В настоящей работе исследовали возможность получения пористых композиционных материалов на основе ПВС, наполненных ионообменными материалами. В качестве полимерной матрицы использовали композицию на основе 11%-ного водного раствора ПВС и 3%-ного раствора альгината натрия с добавлением формалина, поверхностно-активного вещества ОП-10, изопропилового спирта и 1 н. раствора серной кислоты. Формалин и альгинат натрия вводили в состав композиции в качестве компонентов системы, участвующей в формировании полимерной сетки. Смесь подвергали перемешиванию с формированием газовой фазы, после чего вводили наполнитель, помещали композицию в форму и проводили термообработку при 90 °С. В качестве наполнителей исследовали ионообменное волокно и гранулированную ионообменную смолу КУ-2-8. Степень наполнения составляла 60 % от массы полимера.

В ходе экспериментов удалось получить пористый композит с ионообменным волокном, равномерно распределённым в объёме полимерной матрицы. Предположительно, этому способствовали особенности волокнистой структуры, смачивание наполнителя и условия формирования полимерной сетки. В процессе приготовления композиции волокно хорошо смачивалось связующим, что, вероятно, способствовало его удержанию в объёме материала и препятствовало выраженному расслоению при сшивке. При этом получился пористый материал, кажущаяся плотность полученного композита – 0,22 г/см^3, объемная усадка – 32,63 %.

Введение ионообменной смолы КУ-2-8 не позволило получить композиционный материал с требуемой однородностью структуры. Произошло расслоение материала с оседанием гранул наполнителя на дно формы до завершения формирования полимерной матрицы. Несмотря на использование двух сшивающих компонентов, обеспечивающих формирование полимерной сетки, скорость структурообразования могла оказаться недостаточно быстрой для фиксации гранул в объёме композиции. Полученные результаты позволяют предположить, что необходимо учитывать не только плотность наполнителя, но и его форму, размеры, смачиваемость, характер взаимодействия со связующим и скорость формирования полимерной матрицы.

Полученные результаты указывают на перспективность использования ионообменного волокна для создания пористых композитов на основе ПВС. В отличие от порошкообразного наполнителя, волокнистая форма может способствовать более равномерному распределению наполнителя в объёме формирующейся матрицы. Для подтверждения данного предположения необходимы дальнейшие исследования структуры, физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств полученных материалов.

Б. М. Примаченко

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОГЕННОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОНЕНТА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Ткани из химических нитей являются важным компонентом для улучшения существующих и создания новых армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ). К таким тканям относятся ткани из полиэтилентерефталатных, углеродных и полипропиленовых нитей. Эти ткани имеют высокую прочность, значительную термостойкость и хемостойкость, низкую гигроскопичность, большую устойчивость к перепадам температур и влажности.

При создании армированного ПКМ одной из важных задач является выбор или разработка полимерного материала, который должен обеспечивать достижение максимальных прочностных характеристик композита и удовлетворять определенным технологическим и эксплуатационным требованиям. Основной задачей полимерного компонента (ПК) является обеспечение совместности работы нитей армирующего компонента (АК), обеспечение равномерности распределения усилий между нитями, защита их поверхности от повреждения. Поэтому к ПК предъявляются следующие основные требования: хорошая адгезия к поверхности АК, высокая прочность, низкая объёмная усадка и ряд других свойств, позволяющих проводить технологические процессы получения, армированного ПКМ.

В работе в качестве АК была использована углеродная ткань (УТ). УТ имела следующие параметры строения: линейная плотность нитей 200 текс, плотность ткани по основе и по утку 50 нит/дм, переплетение полотняное. В качестве ПК была использована эпоксидная смола марки ЭД-20 в комплексе с отвердителем полиэтиленполиаминого (ПЭПА) типа.

Учитывая значительную гетерогенность строения и структуры ПК на основе эпоксидной смолы основной целью работы было определение влияния различных партий ПК на прочностные характеристики армированного ПКМ при растяжении.

На первом этапе работы были выработаны образцы ПК из двух партий эпоксидной смолы и отвердителя, определены прочностные характеристики образцов. Были получены следующие значения разрывной нагрузи и разрывного удлинения с доверительными границами погрешностей: для первой партии (2318 ± 235) Н и (1,085 ± 0,102) %, для второй партии (5574 ± 1035) Н и (1,515 ± 0,237) %. На втором этапе были выработаны образцы армированного ПКМ также с использованием двух партий смолы и отвердителя и определены их прочностные характеристики. Характеристики имели следующие значения: для первой партии (2894,2 ± 323,4) Н и (0,736 ± 0,079) %, для второй партии (6237,7 ± 866,8) Н и (0,967 ± 0,129) %.

Полученные результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик армированных ПКМ при растяжении показывают значительную неоднородность. Разброс результатов разрывной нагрузки относительно среднего значения для первой партии смолы и отвердителя составляет 11,2 %, разброс результатов разрывного удлинения - 10,7 %, для второй партии смолы и отвердителя, соответственно, 13,9 %, и 13,3 %. Для сравнения приведём разброс результатов исследований разрывной нагрузки и разрывного удлинения ПК. Разброс результатов разрывной нагрузки ПК относительно среднего значения для первой партии смолы и отвердителя составляет

10,1 %, разброс результатов разрывного удлинения – 9,4 %, для второй партии смолы и отвердителя, соответственно, 18,6 %, и 15,6 %.

Полученные результаты прочностных характеристик армированных ПКМ констатировали их значительную неоднородность. Экспериментальные исследования показали, что неоднородность прочностных характеристик в основном формируется гетерогенностью строения и структуры ПК.

Р. А. Гришин, М. С. Полищук, Д. С. Тарасенко, О. В. Козлова

Ивановский государственный химико-технологический университет

КЛЕЕВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплозащитные (теплоизоляционные) материалы традиционно относятся к категории высоковостребованных при производстве рулонных строительных материалов — данная тенденция сохраняет свою актуальность на протяжении длительного времени и, по всей вероятности, останется устойчивой в перспективе. Это теплоизоляционная обмотка вытяжных труб на промышленных объектах, или укрывное полотно, предварительно имеющее водоотталкивающий эффект [2]. Цель проведённого исследования заключалась в систематизации существующих методов формирования теплозащитных характеристик материалов, а также в разработке методологически обоснованной стратегии подбора наполнителей для полимерно-клеевой композиции (ПКК). Ключевым требованием к разрабатываемому подходу являлась возможность повышения теплозащитных свойств дублированных материалов при одновременном сохранении их паропроницаемости и прочностных показателей клеевого соединения.

Процесс дублирования основан на склеивании нескольких слоев ткани, благодаря специальным составам – клеям. Эти составы могут быть абсолютно разной природы, но все они основаны на использовании полимеров. В нашем исследовании используется полимерно-клеевая композиция, в основе которой лежит полимер полиуретановой природы. Исследуя теплозащитные свойства, была проанализирована литература и выполнен патентный поиск. Для улучшения теплозащитных свойств многослойного волокнистого материала (МВМ) была реализована модификация полимерно‑клеевой композиции (ПКК) посредством введения алюмосиликатных микросфер (АСМ) в её состав. Экспериментально подтверждена совместимость данных микросфер с широким спектром связующих систем. Целесообразность применения алюмосиликатных микросфер в качестве изоляционного наполнителя определяется комплексом их физико‑технических характеристик, среди которых — сниженные значения теплопроводности и звукопроводимости.

Структура готового текстильного материала: лицевая часть – полиэфирное волокно, и изнаночная – спанбонд, склеены между собой полимерно-клеевой композицией с добавлением в нее алюмосиликатных микросфер. Склейка проводилась на термопрессе в лабораторных условиях [2]. Оценка теплоотражающих свойств материалов проводилась на специализированном стенде. Ключевым контролируемым параметром являлась разность температур на лицевой и изнаночной поверхностях образцов.

Список литературы

1. Гришин Р.А., Зимнуров А.Р., Санжеева Е.Б., Козлова О.В., Одинцова О.И. Полимерное покрытие для придания текстильным рисункам эффекта ИК-ремиссии // Российский химический журнал. 2022. Т. LXVI. № 2. С. 28–32. DOI: 10.6060/rcj.2022662.5.

2. Санжеева Е.Б., Одинцова О.И., Козлова О.В. Современные достижения в области применения водных дисперсий акриловых полимеров в производстве текстиля // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1 (397). С. 197–200.

В. В. Евдокимов, 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]

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

где

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

σ_t - напряжение,

ε_t - деформация,

D_o - начальная податливость,

D_∞ - предельно-равновесная податливость,

t -время.

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

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0)\varphi_{\sigma t}, \quad (2)$$

которую зададим в виде [11]

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

где

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

структурно-сило-временной аргумент-функционал,

t_1 - задаваемое базовое значение времени,

τ_σ - время запаздывания,

Нормированное логарифмическое ядро ползучести имеет вид [10]

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

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

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

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.

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

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛИГЛИКОЛИДНЫХ НИТЕЙ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Для прогнозирования сроков биодеградации хирургических шовных материалов важно контролировать структурные изменения полимера после модифицирующего воздействия.

Целью работы являлось изучение влияния γ-облучения на структуру полигликолидных нитей методом ИК-Фурье-спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), который позволяет регистрировать радиационно-индуцированные изменения структуры полимерного материала.

Объектами исследования являлись хирургические шовные материалы на основе полигликолида, а именно: нити TRISORB USP 0 от компании «Samyang Biopharmaceuticals Corporation» (Корея) исходные, а также аналогичные нити после воздействия γ-облучения (дозы 0,5 и 3 Мрад).

Установлено, что ионизирующее воздействие вызывает в полигликолидных хирургических нитях процессы радиационно-окислительной деструкции, сопровождающиеся частичным разрывом эфирных связей, образованием новых

кислородсодержащих функциональных групп, снижением степени кристалличности и увеличением доли аморфной фазы. При низкой дозе облучения (0,5 Мрад) данные процессы выражены слабо, тогда как при дозе 3 Мрад структурные изменения становятся значительно более выраженными и отчетливо проявляются в форме, ширине и положении характерных полос поглощения ИК-спектра: наблюдается последовательное уширение полос поглощения в диапазоне ~1800–800 $см^{-1}$ и повышение общего уровня абсорбции в низкочастотной области, изменение формы и положения полосы ~1740 $см^{-1}$, соответствующей валентным колебаниям карбонильной группы сложного эфира (C=O), появление дополнительного поглощения около 1600 $см^{-1}$ и увеличение поглощения в области ~3400–3600 $см^{-1}$, что может быть связано с образованием карбоксильных и гидроксильных концевых групп. В спектре фиксируются вариации как относительных интенсивностей, так и ширины полос в областях ~1417, ~1154, ~1087 и ~710–715 $см^{-1}$. Согласно спектроскопическим данным, указанные полосы обусловлены колебаниями фрагментов C–O–C, групп CH_2 и скелетными колебаниями полиэфирной цепи.

Наблюдаемые изменения на спектрах – следствие радиационного старения полимера и роста его структурной неоднородности. Под действием излучения в матрице могут происходить разрывы макромолекулярных цепей, образовываться свободные радикалы, идти реакции окисления, расти аморфная составляющая, что приводит к нарушению конформационного порядка и регулярности упаковки цепей. [1].

Таким образом, воздействие γ-облучения на полигликолидные нити вызывает значительные структурные и химические изменения, что открывает возможность целенаправленного регулирования сроков их биодеградации.

Список литературы

1 Loo S.C.J., Ooi C.P., Boey F.Y.C. Radiation effects on poly(lactide-co-glycolide) (PLGA) and poly(l-lactide) (PLLA) // Polymer Degradation and Stability. 2004. Vol. 83. № 2. P. 259–265.

Д. А. Сюртукова, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СИНТЕЗ СТАБИЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания новых полимерных материалов с устойчивыми антибактериальными свойствами, прежде всего для медицинских шовных материалов, контакт которых с раневой поверхностью вызывает риск попадания микробов и развития послеоперационных инфекций.

Наночастицы оксида меди CuO представляют собой перспективный модификатор для полимерных материалов благодаря химической стабильности, возможности регулирования размера частиц, а также ярко выраженному антибактериальному и противогрибковому действию. Помимо этого, доказано, что наночастицы CuO стимулируют рост новых сосудов и ускоряют формирование коллагеновой матрицы, что ведет к заживлению ран без грубых рубцов.

В ходе эксперимента методом редукции были получены стабильные растворы наночастиц оксида меди CuO на основе альгината натрия (манутекс RS) и поливинилового спирта (ПВС). Использование данных полимерных матриц позволило обеспечить дисперсионную устойчивость наночастиц, предотвратить их агрегацию и сформировать однородные системы, пригодные для последующего формования полимерных материалов.

Размеры полученных липосом измеряли с помощью прибора *BeNano 180 Zeta Pro* – это многофункциональный анализатор размера наночастиц и дзета-потенциала, разработанный компанией *Bettersize Instruments*. Диапазон измерения размеров составляет 0,3–15 000 нм. Этот прибор определяет гидродинамический размер частиц, т.е. гидродинамически значимый объём частицы с учётом сольватной оболочки, адсорбированных слоёв и влияния окружающей среды, поэтому он не совпадает с геометрическим диаметром частицы в сухом состоянии. По результатам измерений при угле рассеяния 173º и температуре 25 ºС, гидродинамический размер полученных наночастиц CuO варьируются от 45 до 250 нм.

По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), выполненной на микроскопе *JEOL JSM-6390 LA*, установлено, что синтезированные наночастицы характеризуются размерами в диапазоне 30–50 нм и преимущественно цилиндрической формой.

Проведены испытания синтезированных растворов наночастиц CuO и полученных из них пленок на устойчивость к воздействию плесневых грибов *Penicillium chrysogenum*. Опытные образцы показали высокую эффективность в ингибировании роста плесневых грибов, что подтверждает наличие фунгицидных свойств.

В дальнейшем на основе полученных растворов планируется изготовление полимерных пленок, содержащих наночастицы оксида меди, методом электроспиннинга. Данный метод позволяет получать волокнистые материалы с контролируемой морфологией и равномерным распределением CuO в полимерной матрице, что немаловажно в создании модифицированных раневых покрытий и медицинских шовных материалов.

Применение модифицированных наночастицами CuO полимерных материалов может способствовать снижению риска раневой инфекции и повышению безопасности хирургических вмешательств. Кроме того, такие системы перспективны для имплантационных покрытий и других поверхностей.

Таким образом, создание полимерных пленок и волокон с включенными в их состав наночастицами оксида меди CuO являются перспективным направлением разработки медицинских материалов нового поколения с контролируемой антимикробной функцией, регенерирующими свойствами и повышенной клинической эффективностью.

А. А. Козлов, В. В. Евдокимов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Всестороннее, комплексное изучение эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов возможно только на основе математического моделирования и системного анализа их деформационных свойств [1].

Указанное исследование включает в себя: проведение тестового эксперимента в режимах релаксации и ползучести; построение адекватной математической модели деформационных свойств, определение вязкоупругих параметров-характеристик математической модели; моделирование деформационных процессов, применение специально разработанных компьютерных методик системного анализа и качественной оценки деформационных свойств полимерных текстильных материалов [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 полимерные текстильные 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 прохождения спускаемого аппарата через атмосферу [5].

Современному обществу требуется большое разнообразие полимерных материалов, обладающих множеством различных свойств. Для одних целей нужны водонепроницаемые материалы, для других гигроскопические и т.д. Поэтому задача исследования физико-механических свойств полимерных текстильных материалов является особо актуальной [6].

Важными физико-механическими характеристиками полимерных текстильных материалов являются их упругие и деформационные свойства, определяющие способность этих материалов изменять форму под воздействием нагрузки и восстанавливаться после ее снятия [7].

Для определения указанных 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 физико-механические характеристики полимера, но и была бы наиболее простой из возможных вариантов, а также включала минимум физически обоснованных параметров [8].

Естественное желание упрощения математической модели, при прочих равных условиях, диктуется стремлением облегчить процедуры определения физико-механических характеристик полимеров и прогнозирования их деформационных

процессов. Включение же в модель избыточных параметров, существенно не влияющих на точность прогнозирования, усложняет процедуру получения решения [9].

Математическая модель физико-механических свойств полимерных текстильных материалов представляет собой, как правило, систему уравнений относительно определяемых параметров-характеристик, связанных дополнительными условиями [10].

Для получения единственного решения системы требуется задание дополнительных условий, которыми могут служить данные тестового эксперимента, полученные лабораторным путем. Основополагающими деформационными процессами полимерных текстильных материалов являются процессы релаксации, характеризующиеся изменением напряжения в материале при его растяжении в зависимости от заданной деформации, и процессы ползучести, характеризующиеся изменением деформации при задании напряжения [11].

После составления математической модели физико-механических свойств полимерных текстильных материалов, при наличии необходимых экспериментальных данных, переходят к определению физико-механических параметров характеристик указанных материалов, используя при этом соответствующие методики на основе численных методов [12].

На этом этапе особую актуальность приобретает компьютеризация вычислений, позволяющая уменьшить их трудоемкость и повысить точность расчетов. Расчетные значения физико-механических параметров-характеристик подлежат контролю на достоверность путем выборочного их сравнения с данными полученными в тестовом эксперименте [13].

По значению величины отклонения расчетных значений деформации или напряжения от соответствующих экспериментальных значений делается вывод о пригодности разработанной математической модели для конкретного полимерного текстильного материала [14].

Следующим шагом комплексного исследования физико-механических свойств полимерных текстильных материалов является расчетное прогнозирование их деформационных процессов с учетом определенных ранее физико-механических параметров-характеристик [15].

Указанное расчетное прогнозирование позволяет дать рекомендации по функциональной применимости изучаемых материалов и оказывает влияние на отбор образцов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами [16].

Математическое моделирование физико-механических свойств полимерных текстильных материалов полезно сочетать с разработкой критериев достоверности такого моделирования и надежности прогнозирования деформационных процессов. Указанные критерии с целью контроля точности прогнозирования применяются как на этапе моделирования - для разработки наиболее адекватной математической модели, так и на этапе прогнозирования - для определения погрешности прогноза.

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Переборова Н.В., Сердюк С.С., Кузьмин С.Д., Смирнов Г.А. Методы системного анализа при исследовании вязкоупругих свойств текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 35. № 1. С. 16-26.

2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Шванкин А.М. Методология математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 29. № 1. С. 20-28.

3. Переборова Н.В., Шванкин А.М., Ковтун М.А. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, используемых для производства обуви // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 29. № 1. С. 38-46.

4. Переборова Н.В. Методология компьютерного моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 30. № 2. С. 33-42.

5. Переборова Н.В., Максимова Н.А. Логистическая модель процесса организации склада готовых изделий текстильной и легкой промышленности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 32. № 4. С. 114-117.

6. Переборова Н.В. Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе качественного анализа их эксплуатационно-деформационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 32. № 4. С. 123-132.

7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Прогнозирование усадочных и восстановительных свойств арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 32. № 4. С. 142-150.

8. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М., Васильева Е.К., Козлов А.А. Организация производства арамидных текстильных материалов с учетов их усадочных и восстановительных свойств // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. № 1. С. 102-111.

9. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 3. С. 39-42.

10. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки деформационно-функциональных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения // Химические волокна. 2020. № 4. С. 37-40.

11. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных процессов полимерных текстильных материалов с целью оценки их эксплуатационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 80-88.

12. Переборова Н.В., Зурахов В.С., Киселев С.В., Чалова Е.И. Моделирование высокоскоростного деформирования полимерных ориентированных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2019. № 5. С. 92-101.

13. Переборова Н.В. Применение критериев качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов для оценки их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 101-110.

14. Переборова Н.В., Чалова Е.И. Проведение качественного анализа релаксационных и деформационных свойств полиамидных тканей для куполов парашютов при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 24-34.

15. Переборова Н.В., Чалова Е.И. Применение системного анализа для исследования деформационных свойств полиамидных тканей для парашютов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 60-70.

16. Переборова Н.В. Разработка методов качественной оценки эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности с целью повышения их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 144-155.

К. А. Исаченко, А. С. Николаева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИПСОВОГО КОМПОЗИТА ЗА СЧЁТ ПРОПИТЫВАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ ГИДРОФОБНЫМ СОСТАВОМ

Главное преимущество армирования гипсового композита кулирным трикотажем – возможность обтянуть любую форму сложного профиля (барельеф, модульон, карниз и пр.) и залить гипсом, если речь идёт о реставрации, или создать заданной формы наполнитель, если нужно изготовить новое гипсовое изделие. Армирующий наполнитель из хлопчатобумажного трикотажа придаёт прочность гипсовому композиту за счёт хорошей адгезии, но недостаток хлопка в его гидрофильности. Поэтому появилась гипотеза об улучшении прочностных свойств гипсового композита за счёт пропитывания наполнителя гидрофобным составом.

Как первый шаг в этом направлении, была изучена адгезия гипса к трикотажному полотну переплетения ластик 1+1 из хлопчатобумажной пряжи 31х2 текс с водоотталкивающей фтороорганической пропиткой (уксусная кислота 100%, кросгард FTCE, реппелан XL-N, COS SOFTPE conc, эмульсия ПВА). Материал пропитки разработан на кафедре химических технологий СПбГУПТД.

Образец трикотажного полотна пропитывают в заранее подготовленном растворе, прокатывают через вытяжной прибор и затем просушивают до полного высыхания. После этого проводят заключительную термообработку – на 3 минуты отправляют в печь при 180 градусах.

С целью определения влияния гидрофобизирующей пропитки на адгезионную прочность гипса марки Г-16 к армирующему наполнителю был проведён эксперимент на универсальном измерительном комплексе «Инстрон» при испытании на изгиб (ГОСТ Р 56810 – 2015). При изгибе образец с пропитанным трикотажем дал трещину при нагрузке 70,5 Н, отслойки не произошло. Прочность гипсового композита составила 5,9 МПа. Ранее проведённым экспериментом показано, что прочность аналогичного композита без пропитки составляет 4,5 МПа. Гипотеза об улучшении прочностных свойств

гипсового композита за счёт пропитывания трикотажа гидрофобным составом подтвердилась. Композит с пропитанным хлопчатобумажным наполнителем превосходит по прочности не только материал, армированный тем же полотном без пропитки, но и композит, армированный трикотажным полотном из параарамидной нити «Херакрон», прочность которого составила 5,1 МПа. Здесь стоит отметить, что прочность параарамидной нити на разрыв, составляющей 3,0-3,6 ГПа, во много раз превышает прочность нити из хлопкового волокна, составляющей 0,4 ГПа, что звучит довольно противоречиво, но именно в этом и есть достоинство композитов, что полученные свойства двух объединенных материалов лучше, чем каждого материала по отдельности. Следовательно, стоит продолжить исследования влияния гидрофобной пропитки на прочность композита в целом, так как использование пропитанного хлопчатобумажного наполнителя может быть более экономически выгодным вариантом, чем армирование трикотажным полотном из дорогостоящей нити «Херакрон» и при этом давать лучший результат по прочности.

К. А. Зайцева, Н. С. Лукичева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ХЛОРГЕКСИДИН КАК АНТИМИКРОБНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Хлоргексидин (ХГ) представляет собой катионное бисбигуанидное соединение, широко применяемое в качестве антимикробного вещества. Благодаря чему ХГ представляет интерес как бактерицидная добавка для полимерных покрытий и композитов [1].

Практическое значение имеют не только химические свойства самого хлоргексидина, но и форма его существования. Свободное основание хлоргексидина имеет формулу $C_{22}H_{30}Cl_2N_{10}$, однако в фармацевтической практике наиболее распространены его соли, в частности диглюконат и диацетат. Выбор формы хлоргексидина связан с растворимостью, технологическими свойствами и областью последующего применения [2].

Особый интерес представляет 20%-ный раствор хлоргексидина глюконата (диглюконата). Согласно требованиям USP, водный раствор содержит 19,0–21,0 % (м/об.) хлоргексидина глюконата, то есть номинальная концентрация составляет 20 %. Поэтому обозначение «20 % хлоргексидина» не следует трактовать как содержание 20 % свободного основания: речь идёт о концентрированном растворе его глюконатной соли [2]. Образование солей связано с протонированием молекулы основания и последующим взаимодействием с соответствующим анионом.

Другой важной формой является хлоргексидин диацетат. Он представляет собой соль хлоргексидина, в которой протонированная молекула соединена с двумя ацетат-ионами. Диацетат используется как источник хлоргексидина в антимикробных системах. Форма соли влияет на растворимость, доступность действующего вещества и особенности его введения в различные материалы [3], [4].

Антимикробное действие ХГ обусловлено его катионной природой. Положительно заряженные участки молекулы взаимодействуют с отрицательно заряженными компонентами клеточной поверхности и мембраны микроорганизмов. Это приводит к нарушению целостности мембраны, изменению её проницаемости, выходу внутриклеточных компонентов и снижению жизнеспособности клетки [3]. В зависимости от концентрации и условий применения

хлоргексидин проявляет бактериостатическое и бактерицидное, а также фунгистатическое и фунгицидное действие; также для него характерна способность воздействовать на биоплёнки.

Таким образом, ХГ может применяться как в виде свободного основания, так и в форме солей, наиболее распространёнными из которых являются диглюконат и диацетат. Форма соединения определяет его технологические свойства и возможности применения. При введении вещества в полимерную матрицу необходимо учитывать его распределение, доступность на поверхности, возможное вымывание и сохранение антимикробной активности после отверждения.

Список литературы

1. Berrow M., Brooks A., Kotowska A.M. et al. Development and characterisation of antimicrobial epoxy resin // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 12463. DOI: 10.1038/s41598-025-90465-7.

2. United States Pharmacopeia. Chlorhexidine Gluconate Solution // USP–NF. Rockville, MD: United States Pharmacopeia. DOI: 10.31003/USPNF_M15620_03_01.

3. McDonnell G., Russell A.D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance // Clinical Microbiology Reviews. 1999. Vol. 12. No. 1. P. 147–179. DOI: 10.1128/CMR.12.1.147.

4. Thomas L., Russell A.D., Maillard J.-Y. Antimicrobial activity of chlorhexidine diacetate and benzalkonium chloride against Pseudomonas aeruginosa and its response to biocide residues // Journal of Applied Microbiology. 2005. Vol. 98. No. 3. P. 533–543. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2004.02402.x.

5. Holinga G.J., McGuire J.E. In vitro antimicrobial effects of chlorhexidine diacetate versus chlorhexidine free base dressings // Journal of Wound Care. 2020. Vol. 29. Suppl. 5a. P. S22–S28. DOI: 10.12968/jowc.2020.29.Sup5a.S22.

М. С. Переход, А. Кухаренко, З. Б. Йидег

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНИ НА ФОРМУЕМОСТЬ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

При изготовлении полимерных композиционных материалов (ПКМ) армирующий наполнитель должен обладать не только необходимыми механическими характеристиками, но и достаточной формуемостью. Под формуемостью понимают способность ткани деформироваться и принимать форму оснастки без складок, разрывов и смещения нитей, сохраняя устойчивую укладку при пропитке. Способность ткани принимать форму оснастки зависит от ее структуры, вида используемых нитей, их взаимного расположения и способности к деформации. Текстильная форма наполнителя оказывает влияние на технологичность изготовления ПКМ, а тип переплетения определяет особенности строения и деформационного поведения ткани. Поэтому оценка формуемости является важной частью выбора армирующего материала для изделий сложной геометрии.

Целью работы являлось исследование влияния состава и структуры непрерывного тканого наполнителя на его формуемость при изготовлении ПКМ. Для испытаний использовали ткани, поверхностной плотностью 250, 300 и 360 г/м^2.

Формуемость оценивали путем укладки образцов тканей на форму с заданными радиусами внешних и внутренних углов от 0 до 10. После укладки ткань пропитывали

смолой. В процессе испытания наблюдали за повторением и точным совпадением ткани с радиусом формы и определяли участок, на котором происходило смещение ткани и потеря устойчивой укладки. Чем дальше по формующей поверхности сохранялась устойчивая укладка, тем выше оценивалась формуемость исследуемой ткани.

По результатам испытаний ткани из с поверхностной плотностью 250 г/м^2 сохраняли хорошее прилегание до 11-го внешнего угла. Для ткани с поверхностной плотностью 300 г/м^2 предельным оказался 6-й внешний угол. Ткань с поверхностной плотностью 360 г/м^2 – до 3-го внешнего угла.

В ходе проведенных испытаний экспериментально установлена качественная взаимосвязь между поверхностной плотностью непрерывного тканого наполнителя и его формуемостью в процессе выкладки на формообразующую оснастку. Показано, что увеличение поверхностной плотности армирующего материала приводит к закономерному снижению его формуемости при изготовлении конструкций из ПКМ.

Максимальную адаптивность к сложной геометрии продемонстрировал тканый наполнитель с поверхностной плотностью 250 г/м². Выявлен критический порог формуемости для тяжелого тканого наполнителя плотностью 360 г/м², у которого потеря устойчивости укладки и геометрическое смещение зафиксированы уже на 3-м внешнем угле. Высокая изгибная жесткость и плотная упаковка нитей в данной структуре существенно ограничивают применение на сложных формах, делая материал неприменимым для формования изделий с малыми радиусами кривизны.

Руководитель: ассистент каф. НВКМ, к.т.н. Саклакова Е.В.

Н. В. Переборова, В. И. Вагнер

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработка и совершенствование методов расчетного прогнозирования напряженно-деформированных состояний полимерных материалов в области действия неразрушающих механических воздействий обусловлено расширяющимся их применением в технических изделиях, а также неразрывно связано с задачами по сравнительному анализу свойств материалов, с исследованиями взаимосвязи свойств со структурой, с целенаправленным технологическим регулированием свойств, с прогнозированием кратковременных и длительных механических воздействий [1].

На изучаемые деформационные свойства полимерных материалов оказывают влияние температурные воздействия, а также уровни и длительности механических воздействий [2].

Для сравнительного анализа и прогнозирования указанных свойств необходима разработка математической модели на основе физически обоснованного аналитического описания этих влияний[3].

В этом направлении в ряде технологических ВУЗов России ведутся работы по применению уравнений наследственной механики твердых деформируемых тел к различным полимерным материалам [4].

Различия в предлагаемых решениях этих задач 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 [6].

Задача значительно усложняется, когда у полимерных материалов помимо вязкоупругих свойств проявляются также и пластические свойства, т. е. появляется необратимый компонент деформации, которому также следует уделить особое внимание [7].

Особую ценность имеет решение такой задачи для полимерных материалов, когда помимо сопоставления механических свойств материалов приходится также делать расчеты на условия эксплуатации изделий [8].

Без измерений таких простых процессов как ползучесть, релаксация и восстановление такую задачу решить невозможно [9]. Именно поэтому у материаловедческих лабораторий имеются определенные преимущества по отношению к теоретическим разработкам.

В настоящее время широкое разнообразие полимерных материалов и большой объем накопленного эксперимента доказывают необходимость, как разработки новых методов исследования их деформационных свойств, так и создания на этой основе практических методик [10].

Появление новых полимерных материалов с различными вязкоупругими свойствами обосновывает поиск новых математических моделей указанных свойств и применение для исследований компьютерных методов обработки экспериментальной информации [11].

Создание новых методов исследования механических свойств полимерных материалов способствует наиболее достоверному прогнозированию деформационных процессов [12].

Следует заметить, что выбор моделей механических свойств полимерных материалов осложняется тем, что нельзя априорно отдать преимущество какой-то из них [13].

Основным критерием для отбора служит эксперимент. Наличие нескольких функций для моделирования позволяет сделать оптимальный выбор и, тем самым, повысить надежность прогнозирования [14].

Разработанные методы определения вязкоупругих параметров-характеристик и прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов позволяют решать задачи технологической направленности по отбору материалов, обладающих оптимальными характеристиками с точки зрения эксплуатационных свойств [15].

Применение разработанных методик прогнозирования нелинейно-наследственной вязкоупругости к большой группе полимерных материалов позволяет сделать вывод об универсальности построенной теории и разработанных методик, а также рекомендовать их использование в материаловедческих исследованиях для изучения вязкоупругих свойств широкого круга перспективных полимерных материалов технического назначения в различных отраслях народного хозяйства [16].

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на спектр времен релаксации полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 37. № 3. С. 79-85.
2. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на механические свойства полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 30. № 2. С. 43 - 49.
3. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В. Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов в гибко и жесткоцепных полимерных текстильных материалах на основе диаграмм растяжения // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. № 1. С. 5-9.
4. Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич П.П. Моделирование и прогнозирование ползучести полимерных текстильных материалов методом барьерной теории // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. Т. 41. № 3. С. 5-9.
5. Шахова Е.А., Головина В.В., Макаров А.Г., Рымкевич П.П., Федорова С.В. Обобщенное определяющее уравнение нелинейной вязкоупругости // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2019. № 2. С.5-8.
6. 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.
7. Макаров А.Г., Егоров И.М., Шванкин А.М. Методы системного анализа при исследовании деформационно-релаксационных свойств морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 65-72.
8. Макаров А.Г., Егоров И.М. Компьютерное прогнозирование и системный анализ вязкоупругих процессов морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 73-82.
9. Макаров А.Г., Егоров И.М., Овсянников Д.А. Методы исследования упругих, вязкоупругих и пластических свойств морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 94-101.
10. Макаров А.Г., Петренко Ю.В., Неустроева А.С., Вардугина В.В., Коновалов А.С. Анализ конкурентоспособности предприятий легкой промышленности на базе комплексной оценки показателе финансового состояния // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 5-8.
11. Егорова М.А., Макарова А.А., Коновалов А.С., Максимов В.В. Применение методов спектрального моделирования и компьютерного прогнозирования вязкоупругости для оценки функциональности нетканых полимерных материалов // Химические волокна. 2020. № 3. С. 85 - 88.
12. 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.

13. Макаров А. Г., Егоров И.М. Разработка методов системного анализа деформационно-релаксационных процессов полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 71-83.

14. Макаров А.Г, Егоров И.М. Применение методов качественного анализа деформационно-релаксационных свойств морских полимерных канатов при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 35-44.

15. Макаров А.Г., Бусыгин К.Н. Системный анализ функциональных свойств арамидных материалов специального назначения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 84-94.

16. Егорова М.А., Егоров И.М. Разработка методов повышения качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе применения информационных технологий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 45-55.

Ш. Х. Хуршедзода, Б. С. Ёрова, З. У. Шерова, С. Р. Усманова, З. К. Мухиддин

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

ЭКСТРАКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛКОВОЙ ФРАКЦИИ ИЗ СЕМЯН ПЛОДОВ *CERATONIA SILIQUA*

Плоды рожкового дерева (Ceratonia siliqua L.) состоят из стручков (мякоти) и семян, являющихся источниками различных биологически активных соединений. Согласно данным литературы, семена состоят из зародыша (17 - 23%), эндосперма (37 - 48%) и твёрдой оболочки (29 -35%). В литературе также приводятся сведения о высоком содержании белка в муке из эндосперма рожкового дерева, достигающем 45 -50%, что превышает показатели, указанные для сои (34,35%) и гороха (18,33%) [1].

Для исследования использовали семена плодов рожкового дерева, собранных произрастающего на восточных холмах г. Душанбе, Республики Таджикистан. Анализ фракционного состава показал, что в свежих плодах среднее массовое соотношение стручков и семян составляет 60 и 40% соответственно. В сухом сырье доля стручков увеличивается до 73%, а семян составляет 27%, а влажность исследуемых плодов составляет 6,0 ± 1,2% [2].

Семена высушивали при 40°С и измельчали на мельнице Retsch GV 200 до размера частиц 0,8 -2,0 мм. Полученное сырьё использовали для последовательного выделения биологически активных соединений (БАС). Последовательную экстракцию проводили с целью выделения жировосковых веществ (ЖВВ) и полифенольных соединений (ПФС). Последующее фракционирование с использованием водной, щелочной и кислотной экстракции применяли для выделения белков и полисахаридов семян рожкового дерева. Белковые фракции выделяли согласно методике [3].

Выход экстрагированных фракций из исходного сырья составил 57,84%, в том числе ЖВВ - 3,59%. При этом глобулиновая фракция, осаждённая при изоэлектрической точки, pH 4,6 составила 4,33%, альбумин-полисахаридный комплекс - 6,12%. Выход водо- и кислоторастворимые фракции полисахаридов 23,20% и 5,00% соответственно, а смесь олигосахаридов и полифенольных соединений - 15,60%. Нерастворимый остаток составил 42,06%. Спектральный анализ методом ИК-Фурье выявил чёткое фракционирование полученных компонентов семян рожкового дерева. Белковая фракция демонстрирует характерные полосы поглощения белков (амид I и II), что подтверждает успешную изоляцию глобулина, тогда как нерастворимый остаток показал смешанные спектральные характеристики, что указывает на неполную экстракцию белка и наличие полисахарид-белкового комплекса.

Таким образом, в ходе исследования из семян рожкового дерева (Ceratonia siliqua L.), произрастающего в Республике Таджикистан, были выделены основные фракции и определён их выход. Полученные результаты позволяют лучше понять состав семян рожкового дерева и могут быть использованы для дальнейшего изучения свойств выделенных белков и оценки возможности их применения в качестве природных эмульгаторов и стабилизаторов.

Список литературы

1. Basharat Z., Afzaal M., Saeed F., Islam F., Hussain M., Ikram A., Pervaiz M.U., Awuchi C.G. Nutritional and functional profile of carob bean (Ceratonia siliqua): a comprehensive review // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 26. № 1. P. 389–413. URL: https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2164590.

2. Хуршедзода Ш.Х., Кодириён Г.А., Авлоев Х.Х., Мухиддин З.К. Экстракция и характеристика жиро-восковых веществ семян плодов кароба // Вестник ТНУ серии естественных наук. 2026. № 3.

3. Dakia P.A., Wathelet B., Paquot M. Isolation and chemical evaluation of carob (Ceratonia siliqua L.) seed germ // Food Chemistry. 2007. Vol. 102. P. 1368–1374.

И. В. Солдатова, А. С. Николаева, Т. С. Атрощенко

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

О ВЛИЯНИИ ВОЛОКНИСТОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПРЯЖИ НА ЕЁ ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

При проектировании трикотажного полотна все расчёты сводятся к двум исходным величинам: диаметр пряжи (нити) и заданная длина нити в петле. Диаметр пряжи непосредственно связан с природой сырья и линейной плотностью нити. Длина нити в проектируемом переплетении задаётся на основании рекомендуемого модуля петли в зависимости от назначения изделия. В свою очередь, длина нити в петле, жёсткость нити при изгибе и сжимаемость нити определяют контактную межниточную силу P. Она создаёт изгибающий момент, зная который, можно вычислить диаметр игольной дуги петли, а значит и петельный шаг, и ширину трикотажа.

В формулу для расчёта изгибающего момента входит угол трения нити о нить β. Как известно, для волокнистых материалов угол трения не является константой. Поэтому было решено изучить влияние сырьевого состава пряжи на угол трения.

Для анализа были выбраны два вида пряжи: смешанная (шерсть 50% / ПАН 50%) и ПАН 100%. Исследовалась пряжа как крученая, так и одиночная.

При исследовании смешанной пряжи были выбраны 4 образца пряжи разных производителей, но одинаковой линейной плотности $T_{сум}$ = 62 текс. По полученным экспериментальным данным были выведены зависимости угла трения нити о нить от силы прилагаемой нагрузки вида $\beta = b + a \cdot P$, в которых коэффициент ***b*** характеризует исходный уровень угла трения, коэффициент ***a*** определяет интенсивность снижения угла трения при увеличении нагрузки. Для крученой смешанной пряжи (шерсть 50% / ПАН 50%) были получены зависимости: $\beta = 23{,}5 - 2{,}66 \cdot P$; $\beta = 18{,}8 - 1{,}86 \cdot P$; $\beta = 19{,}0 - 0{,}90 \cdot P$ для одиночной смешанной пряжи: $\beta = 34{,}5 + 2{,}80 \cdot P$.

При исследовании пряжи из ПАН волокон (100%) были выбраны образцы линейной плотности $T_{сум}$ = 28,5×2 текс; 31×2 текс; 35,7×2 текс; 35,7×1 текс, и для них получены следующие зависимости угла трения от прилагаемой к ней нагрузки: $\beta = 29{,}0 - 2{,}20\ P$; $\beta = 27{,}1 - 2{,}08\ P$; $\beta = 32{,}0 - 2{,}90\ P$; для одиночной ПАН пряжи: $\beta = 27{,}5 - 1{,}50\ P$.

Полученные зависимости позволяют рассчитывать величину изгибающего момента, и, следовательно, петельный шаг полотна. Умножив петельный шаг на количество игл, получаем ширину трикотажа. Проведенные исследования наглядно иллюстрируют, что смена одиночной пряжи на крученую и даже замена производителя пряжи могут отразиться на ширине изделия. Этот факт необходимо учитывать при технологической подготовке трикотажного производства.

Е. П. Ширшова[1], А. Ю. Кузнецов[1], З. С. Константинов[2,3]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2] Санкт-Петербургский государственный университет
[3] Санкт-Петербургское государственное бюджетное нестандартное образовательное учреждение «Лицей №280 им. М.Ю. Лермонтова»

ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

Композиционные искусственные субстраты (КИС) являются эффективными заменителями естественных почв регионов с экстремальным земледелием, а также для озеленения и улучшения микроклимата исследовательских станций (полярных, дрейфующих, орбитальных). КИС не пылят, не имеют патогенной флоры и сорняков, просты и удобны в использовании, долговечны, могут содержать в себе запас питательных веществ, и нуждаться только в свете и воде.

Нами были получены блоки газовоздушных КИС (ГКИС) на основе поливинилового спирта (ПВС), наполненных органическими наполнителями: опилки, низинный торф, кокосовое волокно, смесь торфа и кокосового волокна 1:1. Данные наполнители являются дешевыми, доступными и восполняемыми. Перевод водорастворимого ПВС в нерастворимую форму производился путем сшивки формалином с образованием поливинилформаля (ПВФ). ПВС и ПВФ относятся к 4 классу опасности, т.е. являются не опасными веществами, что позволяет их использовать для производства КИС, но формалин является ядом и токсичен для растений и человека даже в малых количествах. По расчетам в процессе получения ГКИС весь формалин должен расходоваться на сшивку, а остаточные количества удаляться в процессе

отмывки. Целью работы являлось определение токсикологического влияния компонентов ГКИС на проращивание и рост растений.

Полученные блоки ГКИС с размерами 15*15*10 см предварительно отмывали. Сравнение ГКИС проводили с растительными субстратами без полимерной матрицы на основе опилок, низинного торфа, кокосового волокна и смеси торфа с кокосовым волокном в пропорции 1:1. Контрольным субстратом являлась стекловата. В каждый субстрат высеивались по 5 шт. семян гороха. Режим выращивания: полив готовым раствором для гидропонных культур, освещение фотолампами в режиме день/ночь: 16/8 часов, влажность воздуха 75 %. В ходе эксперимента оценивали высоту растений (прирост) и количество узлов (КУ) на оси стебля на 14 и 35 сутки от посадки.

Анализ полученных результатов показал, что субстраты на основе опилок без предварительного компостирования неблагоприятно влияют на корневую систему растений как с матрицей, так и без нее (прирост 7-10 см, КУ=5-7). Наилучшими результатами без связующего характеризуются субстраты на основе торфа и смеси торфа с кокосовым волокном (прирост >25 см, КУ>10), однако для ГКИС эти смеси оказались наименее удачными (прирост <10 см, КУ <5), а наилучшие результаты показали ГКИС на основе кокосового волокна (прирост 20-22 см, КУ >10).

По всей видимости при создании ГКИС с торфяными наполнителями происходят сорбционные процессы между формалином и гумусовыми компонентами наполнителя, что задерживает токсическое вещество в структуре. Высвобождение формалина может начинаться в следствии того, что субстраты длительное время находятся в теплом и влажном состоянии с пониженной кислотностью, так как pH готовых водных растворов может колебаться от 5 до 7, в купе с метаболическими процессами, происходящими при росте корневой системы, создавая неблагоприятные условия для роста и полноценного развития растения.

А. Г. Макаров, Н. В. Переборова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применение методов аналитического описания реологических свойств полимеров на основе математического моделирования вязкоупругости [1] для расчетного прогнозирования нагруженных или деформируемых состояний полимерных материалов обеспечивает достаточную надежность и технические удобства.

Благодаря наименьшему количеству параметров - характеристик, простоте их определения из кратковременных экспериментов, ясности их физической интерпретации, запрограммированному несложному вычислению интегралов при сложных режимах нагружения или деформирования, развиваемые методики представляются перспективными для широкого круга полимерных материалов [2].

Вместе с тем не следует забывать о ряде допущений, на которых построены эти методики [3].

Используемые интегральные уравнения упруго-наследственного типа имеют феноменологическое происхождение. Получили развитие линейная теория Больцмана-Вольтерра и нелинейная модификация Лидермана и Персо [4].

Несмотря на достигнутые успехи моделирования упруго-наследственных и более общих реологических сред со стабильной структурой представляется очевидным, что практически любая математическая модель в значительной мере упрощает свойства конкретного твердого материала [5].

Суть альтернативности двух согласованных уравнений нелинейной наследственной ползучести и нелинейно-наследственной релаксации заключается в одновременном применении двух аналогий - сило-временной и деформационно-временной [6].

Прямых противоречий по отношению к современным кинетическим воззрениям в этом подходе не содержится. В то же время необычным является одновременное использование сразу двух аналогий, строго говоря, противоречащих друг другу [7].

Физическому оправданию такого подхода сможет послужить возможный факт лишь приближенного характера обеих используемых аналогий. В пользу развития спектрального максвелловского анализа реологии вязкоупругой среды была дана спектральная интерпретация наследственных релаксационных ядер [8].

Принятая гипотеза о допустимости одновременного согласованного использования двух логарифмически симметричных ядер запаздывания и релаксации имеют лишь приближенный характер, сильно облегчающий всевозможные расчетные процедуры за счет заметного сокращения числа параметров-характеристик [9].

Вопрос о предпочтениях в пользу какого-либо из используемых двух ядер остается невыясненным и подлежит дальнейшим исследованиям. Возможность считать логарифмически симметричным хотя бы одно из этих ядер также не является тривиальной [10].

Помимо состоявшегося предельного сокращения числа параметров-характеристик, существенную роль сыграл простейший вариант обобщения наследственных ядер путем внесения в них сило-временной и деформационно-временной аналогий в нормированном варианте [11].

Получаемые силовая функция времен запаздывания и деформационная функция времен релаксации качественно в целом соответствуют современным представлениям о кинетической термофлуктуационной природе "поведения" аморфно-кристаллических ориентированных полимеров [12].

Для проверки количественного соответствия этим воззрениям по кривым, полученным из "семейств" ползучести и релаксации швейной крученой полиэфирной нити 83 текс, были вычислены значения энергий активации по известной формуле Аррениуса-Больцмана, записанной в виде [13]

$$U_\sigma = RT \cdot \left(\ln \frac{t_1}{\tau_0} - \ln \frac{t_1}{\tau_\sigma} \right), \qquad (1)$$

$$U_\varepsilon = RT \cdot \left(\ln \frac{t_1}{\tau_0} - \ln \frac{t_1}{\tau_\varepsilon} \right), \qquad (2)$$

где

τ_0 - параметр, имеющий смысл длительности элементарной перегруппировки "релаксирующих" частиц материала;

$t_1 = 1 мин.$;

$\ln \frac{t_1}{\tau_\sigma} = f_{\sigma_1 \sigma}$ - силовая функция,

τ_σ - время запаздывания;

$\ln \frac{t_1}{\tau_\varepsilon} = f_{\varepsilon_1 \varepsilon}$ - деформационная функция,

τ_ε время релаксации;

T - температура $T^o K$;

$R = kA$, k - постоянная Больцмана, A - число Авагадро;

U_σ - энергия активации как функция напряжения;

U_ε - энергия активации как функция деформации [14].

Использовались значения: $R = 8{,}31\, кДж/(моль \cdot град)$ и $\tau_0 \cong 5 \cdot 10^{-12}\, c$, откуда следует $\ln \frac{t_1}{\tau_0} \cong 30$.

При этом подразумевается, что при изменении температуры физический смысл используемых параметров-характеристик сохраняется, а их численные значения могут изменяться [15].

В исследуемом температурном интервале изотермические сило-временная и деформационно-временная аналогии обобщаются в температурно-сило-временную и температурно-деформационно-временную аналогии соответственно [16].

Допущения, внесенные в математическое описание наследственно-реологических свойств полимерной нити практически не повлияли на вычисление значений энергий активации по временам запаздывания (1) и временам релаксации (2).

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на спектр времен релаксации полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 37. № 3. С. 79-85.

2. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Шахова Е.А. Особенности влияния надмолекулярной структуры на механические свойства полимерных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. Т. 30. № 2. С. 43 - 49.

3. Рымкевич П.П., Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич О.В. Прогнозирование деформационно-релаксационных процессов в гибко и жесткоцепных полимерных текстильных материалах на основе диаграмм растяжения // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. № 1. С. 5-9.

4. Головина В.В., Макаров А.Г., Романова А.А., Рымкевич П.П. Моделирование и прогнозирование ползучести полимерных текстильных материалов методом барьерной теории // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. Т. 41. № 3. С. 5-9.

5. Шахова Е.А., Головина В.В., Макаров А.Г., Рымкевич П.П., Федорова С.В. Обобщенное определяющее уравнение нелинейной вязкоупругости // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2019. № 2. С.5-8.

6. 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.

7. Макаров А.Г., Егоров И.М., Шванкин А.М. Методы системного анализа при исследовании деформационно-релаксационных свойств морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 65-72.

8. Макаров А.Г., Егоров И.М. Компьютерное прогнозирование и системный анализ вязкоупругих процессов морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 73-82.

9. Макаров А.Г., Егоров И.М., Овсянников Д.А. Методы исследования упругих, вязкоупругих и пластических свойств морских полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 94-101.

10. Макаров А.Г., Петренко Ю.В., Неустроева А.С., Вардугина В.В., Коновалов А.С. Анализ конкурентоспособности предприятий легкой промышленности на базе комплексной оценки показателе финансового состояния // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 3-4. С. 5-8.

11. Егорова М.А., Макарова А.А., Коновалов А.С., Максимов В.В. Применение методов спектрального моделирования и компьютерного прогнозирования вязкоупругости для оценки функциональности нетканых полимерных материалов // Химические волокна. 2020. № 3. С. 85-88.

12. 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.

13. Макаров А. Г., Егоров И.М. Разработка методов системного анализа деформационно-релаксационных процессов полимерных канатов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 71-83.

14. Макаров А.Г, Егоров И.М. Применение методов качественного анализа деформационно-релаксационных свойств морских полимерных канатов при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 35-44.

15. Макаров А.Г., Бусыгин К.Н. Системный анализ функциональных свойств арамидных материалов специального назначения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 84-94.

16. Егорова М.А., Егоров И.М. Разработка методов повышения качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе применения информационных технологий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 45-55.

Д. Р. Пылаев, А. Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Наполнение полимеров позволяет придать получаемым материалам – композитам – новые, не свойственные им до этого свойства. Одним из таких свойств является электропроводность, которую можно придать диэлектрическим матрицам вводя в них проводящие электрический ток наполнители. Таким образом можно получить композиционные материалы, сочетающие как технологичность полимерной матрицы, так и уникальные свойства электропроводящих наполнителей.

Для получения электропроводящих композиционных материалов на основе эпоксидных олигомеров качестве связующего использовалась эпоксидная смола марки 828 ker, в качестве наполнителей использовали технический углерод (ТУ) различных марок, а также резаные углеродные волокна (РУВ) марки Урал (длиной 5 см и длиной менее 2 см) и порошок графена. Все эти материалы способны проводить электрический ток. На первом этапе работы было исследовано их удельное электрическое сопротивление при помощи модифицированного четырехзондового метода ван дер Пау. Обнаружено, что удельное электрическое сопротивление ТУ марки П-701 составляет 270 Ом·см, ТУ марки П805 – 420 Ом·см, ТУ марки П-324 - 450 Ом·см, ТУ марки П-705 - 275 Ом·см, РУВ 0,005 Ом·см и графена 0,001 Ом·см.

Далее получали композиты с различным содержанием наполнителя ТУ (1 – 30% масс.), РУВ (менее 2 см) (0,4 – 15% масс.), РУВ (5 см) (0,4 – 15% масс.) и образцы, наполненные графенами (0,4 – 15% масс.).

На полученных образцах определяли удельное электрическое сопротивление поперек плоскости композита.

Выявлено, что на образцы, наполненные всеми видами ТУ во всех диапазонах степеней наполнения, не показали никаких значений сопротивления на измерительном приборе, значения оказались вне чувствительности. Это может быть связано с тем, что каждая частица ТУ обволакивалась связующим, экранируя их от соседних частиц. В этом случае частицы наполнителя, несмотря на высокую степень наполнения, не образовали непрерывную проводящую сеть внутри материала, и, следовательно, сопротивление образцов осталось за пределами чувствительности прибора. Подобное явление наблюдается и на образцах, наполненных графенами, где их удельное электросопротивление определилось только со степени наполнения 14 % и составило 147,6 кОм/см^2 при степени наполнения 14% и 34,9 кОм/см^2 при степени наполнения 15%.

Низкие значения электросопротивления показали образцы, наполненные РУВ, причем увеличение концентрации наполнителя в композитах сопровождается снижением их удельного электросопротивления, а именно: для РУВ (менее 2 см) с 47,9 кОм/см^2 при степени наполнения 0,4% по 0,007 кОм/см^2 при степени наполнения 15%,; для РУВ (5 см) с 38,2 кОм/см^2 при степени наполнения 0,4% по 0,006 кОм/см^2 при степени наполнения 15%. Это может быть связано с тем, что РУВ соприкасаются друг с другом и создают единый проводящий мостик, что положительно сказывается на снижение УЭС.

Таким образом, результаты исследований указывают на перспективность получения электропроводящих композиционных материалов, наполненных РУВ.

А. В. Носаева, Е. С. Цобкалло

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПЭТФ-МОНОНИТИ: РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВАРЬИРОВАНИЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОНАПОЛНИТЕЛЯ

Современный технический текстиль предъявляет всё более жёсткие требования к механической прочности, устойчивости к истиранию и долговечности. Особенно это актуально для мононитей, применяемых в фильтровальных элементах, геотекстиле, сетках бумагоделательных машин и других изделиях, работающих в условиях интенсивного трения и циклических нагрузок. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) широко применяется для получения синтетических нитей, волокон и плёнок благодаря технологичности, высокой прочности, химической стойкости и способности к ориентационной вытяжке, а его физико-химическая модификация, комбинация с частицами (в том числе и наноразмерными), – один из перспективных способов создания волокнистых материалов с новым необходимым комплексом свойств.

Цель настоящей работы — создание композиционных мононитей на основе ПЭТФ с улучшенными механическими характеристиками и повышенной износостойкостью путём введения и регулирования концентрации неорганических нанонаполнителей и технологических параметров переработки.

Серии лабораторных образцов волокнистых композиционных материалов были получены путем введения в расплав ПЭТФ-полимера неорганических нанонаполнителей в виде частиц окислов металлов в диапазоне концентраций 0–10 мас.%. После компаундирования образцы проходили стадию высокотемпературной ориентационной вытяжки (с варьированием степени вытяжки), позволяющей сформировать требуемую ориентированную структуру композиционных мононитей [1-3].

В результате проведения исследований в режиме одноосного растяжения сформулированы закономерности изменения механических свойств, полученных композиционных мононитей на основе ПЭТФ-матрицы в зависимости от концентрации неорганических наночастиц. Испытания трибологических свойств позволили выявить оптимальные условия формирования композиционных мононитей с улучшенными свойствами на истирание. Результаты исследований взаимосвязи структуры и свойств, полученных композиционных мононитей позволяют значительно расширить ассортимент волокнистых материалов специального назначения.

Список литературы

1. Костягина В.А., Соломонов Л.И., Кравченко Т.П., Горбунова И.Ю. Композиционные материалы на основе термопластов // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. XXVI. № 4 (133). С. 11–14.

2. Астахов М.В., Сорокина И.И. Исследование влияния наночастиц оксидов алюминия на механические свойства полимерных композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 11. С. 56–60.

3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: монография / под ред. Берлина А. А.. СПб.: Профессия, 2009. 556 с.

М. А. Егорова, В. В. Евдокимов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Обеспечение конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности объективно является основной стратегической задачей любого предприятия. Большое число факторов определяют уровень конкурентоспособности предприятия, соответственно, могут быть выделены и различные пути решения этой задачи [1].

Однако нетрудно убедиться, что в корне любого возможного направления, ведущего к укреплению позиций предприятий на рынке, лежат те или иные инновации – продуктовые, технологические, организационные. Таким образом, можно утверждать, что фундаментальный подход к обеспечению конкурентоспособности базируется на инновациях и состоит в создании и освоении новых продуктов, новых технологий и материалов, новых эффективных форм организации производства и методов производственного менеджмента [2].

Ключевой характер инновационного подхода к развитию предприятий сегодня является общепризнанным. Однако в его реализации существует немало проблем, как сугубо практических, так и методических. Говоря о практических проблемах, чаще всего отмечают отсутствие финансовых возможностей предприятий использовать инновационный подход к развитию [3].

Такой взгляд базируется на предположении, что в рыночной экономике наличие денег позволяет решить любую проблему. Этот тезис, однако, не является абсолютным. Он справедлив только в развитой и сбалансированной экономике! Такая экономика существует только в теории, что красноречиво подтверждают мировые экономические кризисы, в том числе во времена объявленной пандемии [4].

Функционирование экономической системы реализуется в процессе взаимодействия огромного числа активных элементов (агентов), имеющих различные динамические характеристики, например, такие, как длительность воспроизводственного цикла, темпы обновления концептуальных основ технологии или длительность периода последействия экономических процессов, то есть периода, когда в характере их протекания сказываются состояния, имевшие место к началу наблюдения [5].

Названные и им подобные показатели характеризуют объективные внутренние факторы экономической системы, выступающие в роли возмущений, отклоняющих систему от точки равновесия. До тех пор, пока эти возмущения носят более или менее локализованный характер, рыночные механизмы справляются с задачей регулирования экономики [6].

Если же отклонения достигают критических масштабов и приобретают системный характер, затрагивая, в частности, финансы, как главный системный ресурс экономики, саморегулирование системы становится проблематичным или невозможным [7].

Ситуация в отрасли текстильной и легкой промышленности усугубляется действием и нерыночных дестабилизирующих факторов, таких, например, как перенасыщение фондового рынка необеспеченными ценными бумагами и созданием финансовых пирамид [8].

Поэтому трудно предположить, что в любой момент времени может быть получена структура ресурсов, настолько близкая к объективно необходимой в этот момент, что имеющееся расхождение может быть ликвидировано только с использованием внутренних рыночных механизмов саморегулирования. В качестве примера можно привести тот факт, что в предкризисный период предприятия многих отраслей, находясь в фазе подъема, столкнулись с проблемой нехватки квалифицированных рабочих и инженеров [9].

Структурное несоответствие потребностей и наличных ресурсов нельзя было быстро решить даже при наличии у предприятий денег из-за действия ряда факторов, в частности, таких, как существенные различия в привлекательности отраслей по содержанию труда и заработной плате, инерционность системы полготовки кадров, слабая профессиональная и территориальная мобильность населения [10].

Высказанный тезис достаточно естественно приводит к выводу о необходимости включения в определенных ситуациях, а именно, при достаточно большом рассогласовании необходимой и фактической структуры экономических процессов, внерыночных механизмов, помогающих внутренним рыночным регуляторам вывести экономическую систему на требуемый режим в приемлемые сроки. Таким внерыночным механизмом является, конечно, государственное регулирование экономических процессов [11].

Рыночный механизм регулирования теоретически способен вывести экономику в точку равновесия. Однако, этот процесс может оказаться столь длительным и с социальной точки зрения болезненным, что будет прерван деструктивными событиями в социальной системе [12].

Участие государства, при надлежащей политике, может обеспечить необходимое равновесие между внутренними экономическими и социальными процессами. История дает много примеров подтверждающих неизбежность участия государства в регулировании экономики, принципиально организованной на рыночных началах [13].

Весь спектр конкретных методических вопросов инновационного развития, как магистрального пути развития экономики, имеет своим корнем принципиальный вопрос об организации динамического взаимодействия механизмов государственного и рыночного регулирования процессов развития экономической системы [14].

Такой вывод справедлив не только по отношению к экономике страны в целом, но и к развитию отдельных отраслей. По существу, реализация государственного регулирования экономики в значительной мере осуществляется через механизмы поддержки в разной степени различных отраслей [15].

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

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., 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 их 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.

Л. Н. Ахметзянова, К. С. Литвиченко, К. А. Мясников, К. А. Фатьянова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФОРМУЕМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Значительная часть изделий из стеклопластиков изготавливается контактным (ручным) формованием, при котором армирующая ткань выкладывается на оснастку и пропитывается смолой вручную. Качество изделия зависит от способности ткани повторять рельеф оснастки без складок, разрывов и не проклеиваемых областей. Это свойство называют формуемостью при контактном формовании.

Для её оценки действует ГОСТ 34246-2017 [1]. Метод заключается в формовании полоски полотна, пропитанной полиэфирной смолой, на волнистой форме размером 680 × 250 мм с десятью изгибами, радиус которых возрастает вдоль формы. Формуемость определяют, как минимальный радиус, который полотно воспроизводит без дефектов; результат – среднее значение по трём образцам, вырезанным вдоль и поперёк материала.

Стандарт отмечает, что ручное формование, как правило, не даёт объективных результатов и пригодно для сравнения материалов лишь при работе одного оператора [1]. Основными источниками разброса являются усилие и скорость прижима кистью, вязкость смолы, анизотропия ткани и состояние поверхности формы.

Целью предстоящей работы является разработка стенда, стандартизирующего условия испытания тканей на формуемость в соответствии с ГОСТ 34246-2017.

Для решения поставленной цели предстоит решить следующие задачи: изготовить форму из стеклокомпозита с маркировкой радиусов на каждом изгибе и закрепить её на жёстком основании с регулируемыми опорами и уровнем; укомплектовать стенд оборудованием, предусмотренным стандартом (аналитические весы с погрешностью не более 1 мг (для взвешивания смолы), секундомер (для фиксации времени выдержки), кисть шириной 50 мм (для пропитки ткани), нож (для нарезки тканого материала), антиадгезионные материалы (для предотвращения прилипания формуемой ткани к форме)). Для удобства работы с формой планируется добавить упор и разметку на торце формы, раскройный шаблон 950 × 150 мм, камеру для фиксации изгибов, на которых образец перестал прилегать к форме, и бланк протокола. Затем предстоит оценить повторяемость результатов на стеклотканях и нетканых материалах.

Руководитель: ассистент каф. НВКМ, к.т.н. Саклакова Е.В.

Список литературы

1. ГОСТ 34246-2017. Стекловолокно. Ткани. Нетканые материалы. Метод определения формуемости при контактном формовании. М.: Стандартинформ, 2017. 7 с.

К. А. Головкова, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕЦИТИНОВОЙ ДИСПЕРСИИ С ВИТАМИНОМ С ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИПОСОМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Липосомы относятся к наиболее востребованным системам доставки биологически активных веществ в косметике и фармацевтике. Они представляют собой замкнутые везикулы, образованные фосфолипидными бислоями, и способны удерживать гидрофильные соединения во внутренней водной полости, а липофильные – в самом бислое. Аскорбиновая кислота (витамин С) обладает выраженной антиоксидантной активностью, однако легко окисляется под действием кислорода воздуха, света и повышенной температуры, что ограничивает срок хранения содержащих её составов. Это делает актуальной разработку липосомальных форм витамина С, направленную на повышение его стабильности.

Не менее актуальна разработка липосомальных форм и для витамина Е (токоферола). Будучи жирорастворимым соединением, витамин Е легко встраивается в липидный бислой липосом, что позволяет эффективно защищать его от окислительной деградации, воздействия света и тепла. Инкапсуляция токоферола в липосомы не только повышает его химическую стабильность при хранении, но и улучшает биодоступность, а также обеспечивает контролируемое высвобождение при нанесении на кожу. Кроме того, совместное включение витаминов С и Е в липосомальные системы может обеспечивать синергетический антиоксидантный эффект, что особенно ценно для косметических и фармацевтических композиций. Таким образом, липосомальные системы доставки представляют собой универсальную платформу для стабилизации и повышения эффективности как гидрофильных, так и липофильных витаминов, что обусловливает их широкое применение в современных составах.

Кроме того, липосомальные системы успешно используются для инкапсулирования и в текстильные, и в другие полимерные материалы. Это активно развивающееся направление, особенно в создании косметического текстиля и гибридных систем доставки – тканей, которые при контакте с кожей высвобождают активные вещества. В текстильной промышленности липосомы являются перспективным модифицирующим агентом для создания функциональных текстильных материалов с целью придания им антиоксидантных свойств и обеспечения пролонгированного высвобождения ароматизаторов и других веществ, но это требует применения специальных технологических решений для стабилизации везикул в составе твёрдой матрицы.

В ходе научно-исследовательской работы в качестве фосфолипидной основы использовали лецитин. Синтез проводили в ультразвуковой ванне в течение 30 мин при температуре 45 °С, затем выполняли фильтрацию через фильтр с размером пор 2–3 мкм.

Размеры полученных липосом измеряли с помощью прибора *BeNano 180 Zeta Pro* – это многофункциональный анализатор размера наночастиц и дзета-потенциала, разработанный компанией *Bettersize Instruments*. Диапазон измерения размеров составляет 0,3–15 000 нм. Данный прибор показывает гидродинамический размер частиц – эффективный размер частицы, определяемый по её трансляционной диффузии в жидкой среде и соответствующий диаметру эквивалентной сферы с тем же коэффициентом диффузии. Он характеризует гидродинамически значимый объём частицы с учётом сольватной оболочки, адсорбированных слоёв и параметров

окружающей среды и не тождественен геометрическому диаметру частицы в сухом состоянии.

По результатам измерений при угле рассеяния 173º и температуре 25 ºС, гидродинамический размер полученных липосом с витаминами С и Е составляет в среднем 308 нм.

Липосомы размером менее 300 нм лучше проникают в эпидермис и дерму, повышая биодоступность и эффективность инкапсулированных активов в косметике. В косметологии они обеспечивают более равномерное распределение, улучшенное клеточное поглощение и контролируемое высвобождение витаминов и антиоксидантов. В косметическом текстиле такие наноразмерные везикулы легче включаются в волокна и покрытия, обеспечивая более стабильную иммобилизацию и пролонгированный контакт активов с кожей.

Е. А. Перфильева, В. В. Марценюк

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

КИНЕТИКА ОТВЕРЖДЕНИЯ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

В настоящее время реактопластичные связующие широко применяются в производстве композиционных материалов благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам. Для ускорения или стабилизации отверждения и улучшения физико-механических свойств полимерных матриц всё активнее используется модификация углеродными наночастицами. В данном исследовании рассматривается влияние ультразвуковой (УЗ) и термической обработки, а также введения различных концентраций углеродных нанотрубок (УНТ), графена и технического углерода (ТУ) на процесс отверждения, степень конверсии (степень отверждения) и процесс течения эпоксидиановых смол марок ЭД-20 и 828KER (аналог ЭД-22).

Физическая (ультразвуковая) обработка оказывает существенное влияние на немодифицированные связующие. УЗ-диспергирование (8-10 мин, 100 Вт) сокращает продолжительность отверждения немодифицированных смол со 130 до 90 мин. При этом увеличивается экзотермический пик отверждения смолы (выше температура разогрева). Предварительная термообработка в сушильном шкафу при 80 С в течение 60 мин незначительно сокращает время отверждения со 130 до 125 мин, тогда как без обработки и без введения углеродных нанонаполнителей продолжительность отверждения составляет 130 мин. Введение углеродных наночастиц в количествах 0,05 и 0,10 масс. %. в эпоксидное связующее снижает пиковую температуру отверждения и увеличивает продолжительность процесса, что может быть следствием повышения теплопроводности таких систем.

Анализ степени конверсии показал, что предварительная УЗ-обработка связующего немного снижает степень отверждения немодифицированных систем: с 99,9 до 99,3 %. Наполнение в количестве 0,05 масс. % обеспечивает более высокую степень сшивки, чем введение 0,10 масс. % углеродных наночастиц, вне зависимости от их вида. При этом для обеих матриц (ЭД-20 и 828KER) с 0,10 масс. % УНТ зафиксировано неполное внутреннее отверждение из-за высокой удельной поверхности и агломерации

нанотрубок, создающих пространственные препятствия и блокирующих доступ отвердителя к реакционноспособным эпоксидным группам.

Реологическое поведение модифицированных связующих сильно меняется в зависимости от вида углеродного наполнителя: УНТ резко повышают вязкость (скорость течения капли снижается в десятки раз), тогда как графен и ТУ (даже в количестве 0,10 масс. %) в эпоксидной смоле увеличивают ее текучесть и ускоряют течение капли (до 20 см/мин для 0,1 масс. % графена против 1,4 см/мин у немодифицированной смолы).

На основе полученных результатов можно сформировать практические рекомендации по выбору методов формования полимерных композитов с углеродными наночастицами: для контактного формования рекомендуется использовать добавки УНТ, повышающие вязкость и тиксотропию для предотвращения стекания связующего с вертикальных стенок; для вакуумной инфузии требуется малая вязкость для быстрой пропитки каркаса, поэтому оптимально применение графена или ТУ.

С. В. Киселев, В. И. Вагнер

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛЗУЧЕСТИ ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из примеров использования 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 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 [4].

Экспериментально указанный процесс описывается с помощью диаграммы растяжения, которая может служить средством контроля за точностью прогнозирования других, более сложных режимов деформирования [5].

В основе методов определения характеристик ползучести швейных материалов лежит использование различных математических моделей, аппроксимирующих экспериментальные "семейства" ползучести посредством нормируемых функций [6].

Цифровизацию прогнозирования процессов ползучести швейных материалов следует проводить на основе компьютерных методов численного расчета указанных процессов, построенных на основе математических моделей вязкоупругости изучаемых материалов [7].

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

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

где

$D'_{\sigma s} = \dfrac{\partial D_{\sigma s}}{\partial s}$ - ядро ползучести, отражающее сило-временную аналогию [9],

σ_t - напряжение,

ε_t - деформация,

D_o - начальная податливость,

D_∞ - предельно-равновесная податливость,

t -время.

Податливость $D_{\sigma t}$ аппроксимируем с помощью нормированной функции $\varphi_{\sigma t}$ [10]

$$D_{\sigma t} = D_0 + \left(D_\infty - D_0\right)\varphi_{\sigma t}\,, \qquad (2)$$

которую зададим в виде [11]

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arctg\left(W_{\sigma t}\right) = \Psi\left(W_{\sigma t}\right), \qquad (3)$$

где

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

структурно-сило-временной аргумент-функционал [12],

t_1 - задаваемое базовое значение времени,

τ_σ - время запаздывания,

$b_{n\sigma}$ - структурный коэффициент.

Нормированное логарифмическое ядро ползучести имеет вид [13]

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

Рассчитав по приведенному методу параметры ползучести, можно на основе интегрального уравнения (1) получить прогноз заданного режима деформирования [14].

Приведенный метод расчета параметров ползучести швейных материалов, позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать процессы ползучести швейных материалов, в том числе деформационно-восстановительные любой степени сложности [15].

Прогнозирование процессов ползучести швейных материалов, применяемых в ударозащитных изделиях, позволяет, еще на стадии проектирования таких изделий, делать определенные заключения о деформационных свойствах того или иного образца [16].

На основании приведенного метода прогнозирования процессов ползучести швейных материалов можно проводить технологический отбор тканей, обладающих заданными ударозащитными характеристиками.

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Переборова Н.В. Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе качественного анализа их эксплуатационно-деформационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. № 4 (32). С. 123-132.

2. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Прогнозирование усадочных и восстановительных свойств арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. № 4 (32). С. 142-150.

3. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Разработка методов численного прогнозирования вязкоупруго-пластических свойств морских полимерных канатов // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2. С. 133-140.

4. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Разработка методов математического моделирования и системного анализа функционально-эксплуатационных свойств полиамидных тканей для парашютостроения // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 3. С. 111-117.

5. Переборова Н.В., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Методология расчетного прогнозирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2020. № 1. С. 5-19.

6. Переборова Н.В. Применение критериев качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов для оценки их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 101-110.

7. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М., Козлов А.А., Вагнер В.И. Методология компьютерного моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 1. С. 5-15.

8. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Методы повышения конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на стадии организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 43-52.

9. Переборова Н.В. Повышение качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в научные исследования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2015. № 4. С. 53-62.

10. Переборова Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 11-19.

11. Переборова Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции // Дизайн. Материалы. Технология. 2015. № 4 (39). С. 84-92.

12. Переборова Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35-42.

13. Переборова Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой

промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 11-19.

14. Переборова Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции // Дизайн. Материалы. Технология. 2015. № 4 (39). С. 84-92.

15. Переборова Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35-42.

16. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных процессов полимерных текстильных материалов с целью оценки их эксплуатационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 80-88.

С. И. Джуама, О. И. Кузнецов, Д. А. Петрова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА РАСТВОРЕНИЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН В ДИМЕТИЛФОРМАМИДЕ

Полиакрилонитрильные (ПАН) волокна широко применяются в производстве углеродных волокон, фильтрующих материалов и композитов. Однако отходы ПАН производства, в том числе текстильного, являются трудноперерабатываемыми, одним из путей их утилизации может быть растворение в диметилформамиде (ДМФА) с последующей переработкой в композиционные материалы.

Низкотемпературная плазменная обработка привлекает внимание как метод поверхностной модификации полимерных материалов: она позволяет изменять шероховатость поверхности, полярность и вводить функциональные группы без существенного воздействия на объём материала. Однако вопрос о том, насколько такая обработка способна ускорить растворение ПАН-волокон в ДМФА, остаётся недостаточно изученным.

Исходя из вышесказанного, целью работы является оценка влияния низкотемпературной плазменной обработки на скорость растворения ПАН-волокон в диметилформамиде и установка механизма наблюдаемых эффектов.

Плазменную обработку полиакрилонитрильных волокон проводили в установке GD-5 Vacuum Plasma Cleaner (Shenzhen Fangrui Technology Co.) в среде воздуха в течение 5 минут при мощности 150 Вт и частоте 40 КГц, затем сразу же после обработки волокно погружали в ДМФА и растворяли при постоянном перемешивании и температуре 20 ± 2 °С. Необработанное волокно также растворяли в диметилформамиде в таких же условиях. Оценку степени растворения проводили путем фильтрации растворов через равные промежутки времени и определении массы нерастворенной фракции.

Поскольку растворение ПАН в ДМФА определяется именно разрушением надмолекулярной структуры и преодолением межцепных взаимодействий в объёме волокна, поверхностные модификации оказывают ограниченное влияние на кинетику процесса. Плазменная обработка незначительно изменяет скорость растворения ПАН-

волокон в ДМФА. Улучшение смачиваемости поверхности не компенсирует неизменность внутренней морфологии материала.

Следует отметить, что тенденции к интенсификации процесса растворения в научной литературе и промышленной практике наблюдались неоднократно. Однако результаты воспроизводимых экспериментов демонстрируют существенный разброс, обусловленный тем, что разные партии волокон, а также различные красители, введённые в структуру полимера, оказывают заметное влияние на процесс растворения. Партии ПАН-волокон могут различаться по молекулярно-массовому распределению, содержанию сомономеров, степени ориентации и дефектности структуры, что напрямую сказывается на кинетике набухания и растворения. Красители, в свою очередь, способны изменять характер межмолекулярных взаимодействий, выступать в роли дополнительных центров физических сшивок или, напротив, пластифицировать матрицу, что также отражается на скорости и полноте растворения. Таким образом, разработка универсальных режимов интенсификации процесса растворения ПАН в ДМФА требует учёта вариативности свойств исходного сырья и его предыстории.

А. А. Хлебосолов, Е. В. Саклакова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ ОГНЕСТОЙКИХ ЛИСТОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЛЬФАТА АММОНИЯ В КАЧЕСТВЕ АНТИПИРЕНА

Стремительный рост накопления пластиковых отходов требует внедрения эффективных методов рециклинга. Повторное использование вторичных полиолефинов сдерживается их высокой горючестью. Нами были предприняты попытки модификации вторичного полимерного сырья для получения востребованных в строительстве и отделке огнестойких листовых материалов.

Применение сульфата аммония – доступного и дешевого неорганического антипирена – в матрице вторичных полиолефинов, а также оптимизация параметров их совместной переработки методом горячего прессования является перспективным направлением исследований, в современных условиях и тенденциях, направленных на большую вовлеченность вторичного сырья в промышленных технологиях и стремлении снижении углеродного следа.

Выбор сульфата аммония ($(NH_4)_2SO_4$), в качестве антипирирующей добавки, обусловлен его способностью разлагаться при нагревании с выделением негорючих газов (NH_3, H_2O) и образованием полифосфорных кислот (если применяется в смесях) или защитного коксового слоя, изолирующего полимер от кислорода.

Введение сульфата аммония (в концентрации 20 - 35 мас. %) позволяет перевести материал из категории легковоспламеняемых в категорию трудновоспламеняемых (достижение класса стойкости к горению ПВ-0 / V-0 по ГОСТ 28157 / UL-94) [1].

Отмечается закономерное снижение относительного удлинения при разрыве при росте содержания антипирена [2]. Однако прочность на изгиб и модуль упругости сохраняются на уровне, пригодном для конструкционно-отделочных материалов [2].

Термический анализ (ТГА/ДСК). Подтверждено смещение начала интенсивной термодеструкции композита в область более высоких температур и увеличение коксового остатка [3].

Разработанные огнестойкие листы рекомендованы для использования в строительной индустрии (облицовочные панели, перегородки), производстве тары и элементах кабельных каналов.

Список литературы

1. Ушков В.А., Голованов А.В., Нагановский Ю.К. Термостойкость и пожарная опасность материалов на основе вторичных полиолефинов // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 82–84. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/termostoykost-i-pozharnaya-opasnost-materialov-na-osnove-vtorichnyh-poliolefinov (дата обращения: 30.09.2026).

2. Шевченко В.В., Давыдов А.А., Богданович С.П., Цай Ф. Влияние антипирирующих добавок на динамические механические свойства и стойкость к окислению термопластичного полиуретана // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2022): тезисы докладов международной научно-технической конференции. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2022. С. 106.

3. Козырев А.А., Гордеев В.А., Смирнов К.С. [и др.] Экспериментальное исследование влияния температуры на физико-механические свойства композиционного материала // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 12. С. 115–118.

А. А. Оглобин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ДОБАВКАМИ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АММИАКА

Производство аммиака является одним из наиболее масштабных, высокотехнологичных и стратегически важных секторов современной химической промышленности. Аммиак служит главным сырьем для выпуска азотных удобрений, азотной кислоты, пластмасс, взрывчатых веществ и другой продукции.

Можно выделить несколько основных стадий в производстве аммиака:

– сероочистка (очистка природного газа от сераорганических соединений);

– риформинг и конверсия (паровой и паровоздушный риформинг метана+паровая конверсия оксида углерода);

– очистка от диоксида углерода (поглощение образовавшегося диоксида углерода в абсорбере раствором МДЭА);

– метанирование (тонкая очистка от оксидов углерода);

– компрессия;

– синтез аммиака (синтез аммиака на железном катализаторе и получение готового продукта).

Агрессивные агенты на каждой из вышеперечисленных стадий постоянно реагируют с корпусом оборудования, что вызывает коррозию, что нежелательно сказывается на его долгоовечности.

Одним из современных способов защиты оборудования от разрушения является применение полимерных покрытий с наночастицами различной природы. Из-за жестких условий в производстве аммиака металлические детали быстро изнашиваются. Полимерные композиционные покрытия помогают бороться с этим: сама полимерная основа работает как плотный щит, а добавленные в неё наночастицы придают покрытию дополнительные полезные свойства – делают его прочнее, устойчивее к химии и лучше сцепляющимся с металлом.

Например, если ввести в акриловый лак наночастицы оксида цинка, покрытие будет крепче держаться на металле. Это происходит потому, что появляется больше точек сцепления, а при высыхании материал меньше «стягивается» и не даёт трещин. В результате защита от коррозии становится намного лучше: в обычной солёной воде – в полтора-два раза, а в кислой среде – почти на 98 %.

Полимерные композиты с наночастицами – это надёжный и многофункциональный способ защиты оборудования в аммиачном производстве. Кроме того, они не только создают барьер для агрессивных веществ, но могут и влиять на электрохимические процессы на поверхности металла и даже «самовосстанавливаться» при небольших повреждениях. В будущем важно разрабатывать такие составы специально под разные части производства – реакторы, теплообменники, трубы и ёмкости для хранения жидкого аммиака. При этом нужно учитывать, насколько текучим будет покрытие при нанесении, при каких температурах оно сохранит свои свойства и как долго прослужит в среде с аммиаком.

Руководитель: ст.пр. кафедры НВКМ Дианкина Н.В.

К. А. Фатьянова, В. В. Марценюк

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА, НАПОЛНЕННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Углеродные волокна на основе полиакрилонитрила (ПАН) широко применяются в качестве армирующих элементов в современных композиционных материалах благодаря их высокой прочности и термической стойкости. Модифицирование полимерной матрицы углеродными наночастицами, такими как технический углерод (ТУ), открывает новые возможности для направленного регулирования эксплуатационных характеристик получаемых волокон. Введение нанонаполнителя позволяет не только улучшить механические свойства, но и существенно снизить электрическое сопротивление (повысить электропровоность) материала. Данное исследование посвящено анализу влияния концентрации углеродного наполнителя и параметров термической обработки на морфологию и электрофизические параметры композитных волокон.

Для получения ПАН волокон-композитов с ТУ использовались следующие материалы: тройной сополимер ПАН с итаконовой кислотой (Нитрон-Д), технический углерод марки PowCarbon 5317F с размером частиц 34 нм и удельной поверхностью 80 м²/г, который вводили в прядильный раствор в количествах 0,1-20,0 масс. %, а также

диметилформамид (ДМФА) и дистиллированная вода в качестве компонентов осадительной ванны.

Процесс формования композитных волокон из ПАН с их последующей карбонизацией включает следующие стадии: приготовление 21 масс. % прядильного раствора в ДМФА с ультразвуковым диспергированием ТУ, мокрое формование волокна из 120 филаментов (линейная плотность 0,33 текс) в осадительную ванну (55 % водный раствор ДМФА при 9 °С), сушку при 95 °С, предокисление на воздухе при 250 °С под натяжением и последующую карбонизацию в среде азота при температурах 700-900 °С.

Анализ морфологии филаментов показал, что предокисление при 250 °С без натяжения вызывает значительную продольную усадку (до 50 %) и утолщение филаментов. При высоком наполнении сажей (20 масс. %) в процессе предокисления без натяжения наблюдается спекание филаментов. Визуально по мере предокисления цвет ненаполненного волокна изменяется от белого до оранжевого и кирпичного за счет реакций циклизации нитрильных групп.

Введение ТУ в диапазоне 1,0-3,0 масс. % существенно повышает прочность на разрыв композитных волокон с 210 МПа (для чистого ПАН) до пикового значения 460 МПа при 1,0 масс. % наполнителя (более чем в 2 раза). Однако дальнейшее повышение концентрации нанонаполнителя (≥5 масс. %) приводит к снижению прочности до 130 МПа.

Электрофизические исследования карбонизованных композитных волокон показали, что рост доли ТУ и повышение температуры карбонизации значительно снижают удельное электрическое сопротивление (УЭС). При температуре карбонизации 900 °С введение 20 масс. % ТУ в ПАН волокно снижает УЭС с 204 до 23 Ом·см, а при 800 °С – с 837 до 75 Ом·см (снижение более чем в 10 раз). При этом добавление 3-10 масс. % ТУ при температуре карбонизации 800 °С позволяет достичь уровня УЭС, сравнимого с исходными ненаполненными волокном, термообработанными при 900 °С.

А. А. Козлов, А. Г. Макаров

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛАСТИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ

Исследование эластических свойств полиэфирных крученых текстильных нитей в зависимости от степени их крутки имеет большое значение, так как при производстве полиэфирных нитей крутка является одной из составляющих технологической цепочки, на которую уходит значительная часть времени [1].

Исследование эластических свойств полиэфирных крученых текстильных нитей необходимо проводить на основе математического моделирования и компьютерного прогнозирования их деформационно-восстановительных процессов [2].

Следует заметить, что одной из целей крутки является получение нитей с определенными эластическими свойствами [3].

Качество крученых полиэфирных текстильных нитей существенно зависит от различных физико-механических факторов, в том числе и от их деформационно-восстановительных свойств в зоне действия неразрушающих деформаций и нагрузки [4].

В качестве исследуемых образцов полиэфирных крученых текстильных нитей

выбирались швейные нити шести различных вариантов [5].

Рассматриваемые варианты швейных нитей, отличающиеся между собой степенью крутки, линейной плотностью, разрывными значениями деформации и напряжения, представляют текстильные материалы сложного строения [6].

Исследования деформационно-восстановительных свойств швейных полиэфирных нитей проводились по методикам прогнозирования характеристик релаксации и запаздывания текстильных материалов сложного строения [7] на основе математической модели с функцией релаксации и запаздывания в виде нормированного арктангенса логарифма приведенного времени, соответствующей логарифмическому распределению Коши [8]

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

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

где

t - время,

$1/b_{n\varepsilon}$ - параметр интенсивности процесса релаксации,

$1/b_{n\sigma}$ - параметр интенсивности процесса ползучести,

τ_ε - время релаксации,

τ_σ - время запаздывания,

$E_{\varepsilon t} = \sigma/\varepsilon$ - модуль релаксации,

E_0 - модуль упругости,

E_∞ - модуль вязкоупругости,

$D_{\sigma t} = \varepsilon/\sigma$ - податливость,

D_0 - начальная податливость,

D_∞ - предельная равновесная податливость,

ε - деформация,

σ - напряжение.

В результате проведенного исследования, установлено, что с увеличением степени крутки происходит ускорение процессов релаксации и ползучести [9].

Кроме того, с ростом крутки функции среднестатистических времен релаксации и запаздывания сдвигаются в сторону малых деформаций и напряжений. Данное обстоятельство также говорит об ускорении указанных процессов [10].

Нити, используемые в швейном производстве, должны обладать достаточной степенью прочности и хорошей растяжимостью. Отсюда следует, что чем быстрее проходят процессы релаксации и ползучести, тем при шитье образуется меньше складок, а строчка будет менее заметной, что, несомненно, сказывается на внешнем виде готового изделия [11].

Таким образом, увеличивая степень крутки, мы улучшаем товарный вид швейного изделия. Однако в тех случаях, когда товарный вид изделия не играет большой роли, например, в швейных изделиях технического назначения, можно обойтись малой степенью крутки [12].

Прогнозирование деформационно-восстановительных процессов полиэфирных швейных нитей ведется с учетом вязкоупругих характеристик, определенных выше, как численное решение интегрального уравнения Больцмана-Вольтерра [13]

$$\sigma_t = E_0\varepsilon_t - \left(E_0 - E_\infty\right)\cdot\int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \varphi'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta \text{ -} \quad (3)$$

для процесса нелинейно-наследственной релаксации и

$$\varepsilon_t = D_0\sigma_t + \left(D_\infty - D_0\right)\cdot\int_0^t \sigma_\theta \cdot \varphi'_{\sigma;t-\theta} d\theta \text{ -} \quad (4)$$

для процесса нелинейно-наследственной ползучести.

Таким образом:

- методы решения задач нелинейно-наследственной вязкоупругости, разработанные для текстильных материалов сложного строения, применены к швейным нитям с целью определения характеристик релаксации и ползучести [14];

- по полученным характеристикам релаксации и ползучести установлено, что производство нитей с наименьшей степенью крутки наиболее экономично с точки зрения затрат времени на их изготовление, эти нити могут использоваться в изделиях технического назначения [15];

- нити с наибольшей степенью крутки обладают по сравнению с нитями других вариантов наилучшей способностью к релаксации и восстановлению - их можно рекомендовать для производства изделий, в которых товарный вид играет немаловажную роль [16].

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Демидов А.В., Переборова Н.В., Климова Н.С. Прогнозирование релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основа качественного анализа их эксплуатационно-потребительских и функциональных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. № 4 (32). С. 106-113.

2. Переборова Н.В. Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе качественного анализа их эксплуатационно-деформационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. № 4 (32). С. 123-132.

3. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М. Прогнозирование усадочных и восстановительных свойств арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017. № 4 (32). С. 142-150.

4. Переборова Н.В., Климова Н.С., Абрамова И.В., Кобякова Ю.В. Методы компьютерного прогнозирования деформационных процессов технического текстиля // Дизайн. Материалы. Технология. 2017. № 3 (47). С. 97-104.

5. Переборова Н.В., Климова Н.С., Чистякова Е.С., Зурахов В.С., Зурахова Т.А. Моделирование сложных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 3. С. 26-33.

6. Переборова Н.В., Егорова М.А., Киселев С.В., Козлов А.А., Егоров И.М. Изучение деформационных свойств арамидных материалов на основе системного анализа вязкоупругости // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 2. С. 20-29.

7. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Разработка методов численного прогнозирования вязкоупруго-пластических свойств морских полимерных канатов // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2. С. 133-140.

8. Переборова Н.В. Повышение качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в научные исследования // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2015. № 4. С. 53-62.

9. Переборова Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 11-19.

10. Переборова Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции // Дизайн. Материалы. Технология. 2015. № 4 (39). С. 84-92.

11. Переборова Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35-42.

12. Переборова Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 11-19.

13. Переборова Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции // Дизайн. Материалы. Технология. 2015. № 4 (39). С. 84 - 92.

14. Переборова Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35-42.

15. Переборова Н.В. Применение критериев качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов для оценки их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 101-110.

16. Переборова Н.В. Разработка методов качественной оценки эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности с целью повышения их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 144-155.

Д. Р. Шарипов, И. В. Миронов, В. В. Кандин, О. В. Козлова

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПОЛИМЕРНО-КЛЕЕВЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РУЛОННЫХ ТЕПЛООТРАЖАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Одной из серьезнейших проблем применения теплоотражающих рулонных материалов является необходимость применения полимерно-клеевых композиций (ПКК). При выборе ПКК необходимо учитывать условия эксплуатации и долговечность теплоизоляции. Известны строительные материалы на основе стеклотканей с покрытием из алюминиевой фольги. Расширение ассортимента подобных теплоизоляционных материалов последовало в направлении применения в ПКК микросферических наполнителей. Например, известно теплоизоляционное покрытие [133] содержащее в своем составе полые микросферы покрытые слоем металла: серебра, меди или никеля. Металлизированный экранирующий слой, способный отражать тепловое излучение на теплоизолируемой поверхности, состоит из 2-х слоев: первый – покрытие, состоящее из связующего и микросфер, второй – тонкий слой металла с коэффициентом отражения более 0,6. Трудность реализации описанных решений заключается в сложности технологии и в их высокой стоимости.

Авторами разработан более простой способ создания теплоизоляционного материала, где экранирующий слой сформирован путем нанесения на стеклоткань полимерно-клеевого состава, состоящего из связующего акриловой или полиуретановой природы, алюмосиликатных стеклосфер и алюминиевого пигмента в специально выверенных соотношениях.

На рис.1 приведена модель теплоотражающего материала, где, как вариант, в качестве отражающего слоя представлена алюминиевая фольга. Предлагаемый способ позволяет разработать высокоэффективный теплоизоляционный композиционный материал строительного назначения.

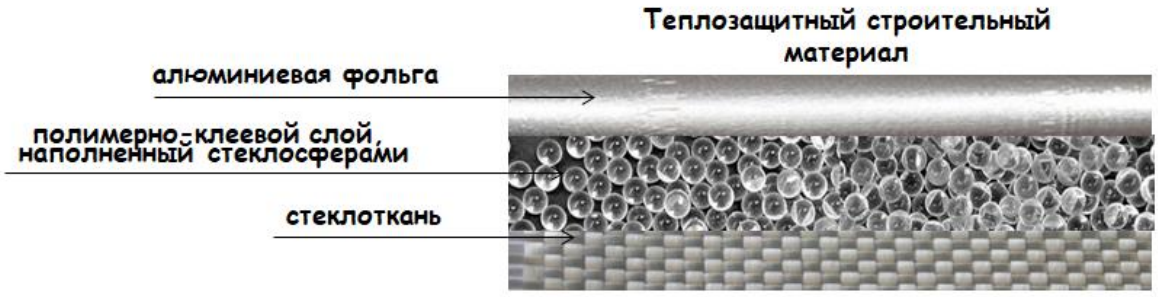

Рис.1. Модель теплоотражающего материала

Так как, теплоизоляционные покрытия - это высоконаполненные композиции, водные стирол-акриловые дисперсии наиболее предпочтительны в качестве связующего вследствие благоприятного соотношения цена/качество. В исследованиях применяются водные дисперсии (мет)акриловых сополимеров российских компаний (ООО «Сван», ООО «Оргхимпром» и др.).

Список литературы

1. Якунин Г.Н., Прокопьев И.П., Бураков В.В. Патент РФ № 102021: МПК51 E04B 1/74. Теплоизоляционное покрытие. Заявитель и патентообладатель: Г.Н. Якунин,

И.П. Прокопьев, В.В. Бураков; 2010122173/03; заявл. 31.05.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. 2 с.

Е. Ю. Тундешева, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР КОСМЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО СЫРЬЯ

Актуальность исследования обусловлена ростом спроса на натуральные косметические продукты и необходимостью расширения отечественной сырьевой базы за счет внедрения высокоэффективных биологически активных компонентов. Нативное кобылье молоко обладает богатым аминокислотным и витаминным профилем, однако его применение ограничено высокой лабильностью и коротким периодом стабильности. Биотехнологическая переработка сырья методом контролируемого ферментативного гидролиза позволяет полностью устранить указанные недостатки, повысить трансдермальную проникающую способность и микробиологическую стойкость субстрата.

Целью работы являлось изучение метаболического профиля ферментированного кобыльего молока и разработка на его основе стабильных косметических рецептур и технологий их производства.

В качестве базового активного компонента использовали супернатант ферментированного кобыльего молока. Методом таргетированного метаболомного скрининга ВЭЖХ-МС (прибор *API 6500 QTRAP*, в режиме *MRM* на органической монолитной колонке на основе 1-винил-1,2,4-триазола) в составе сырья идентифицировано 489 низкомолекулярных соединений. На основании критериев биологической активности верифицирован целевой биопрофиль из 26 метаболитов, в котором по площадям хроматографических пиков установлено доминирование свободных аминокислот (L-пролин, L-лейцин, L-изолейцин) и комплекса органических кислот (L-молочная кислота, янтарная кислота, азелаиновая кислота), выступающих стимуляторами регенерации тканей.

Для выявления физико-химических закономерностей поведения активного компонента с повышенным содержанием солей и кислот в различных технологических системах был применен метод кросс-матричного анализа. Путем лабораторного моделирования разработаны 6 рецептур и изготовлены экспериментальные образцы (по 3 образца крема для лица и по 3 образца сыворотки массой 100 г). Первичную оценку стабильности коллоидных систем проводили методами «ускоренного старения» по ГОСТ ISO/TR 18811-2020 при температурах 40 ± 2 °C и 5 ± 2 °C с комплексным контролем значений pH, динамической вязкости и фазового разделения при центрифугировании.

По результатам стресс-испытаний проведена отбраковка нестабильных составов. Образец крема № 1 потерял коллоидную стабильность на 14-е сутки термостатирования. Образец сыворотки № 1 был отбракован непосредственно после варки из-за разрушения системы и выраженных визуальных дефектов. Образец сыворотки № 2 был исключён из дальнейших испытаний вследствие потери седиментационной устойчивости,

проявившейся критическим снижением динамической вязкости по Брукфильду приблизительно на 20 %.

Физико-химическую стабильность подтвердили 3 разработанные рецептуры, продемонстрировавшие неизменность органолептических свойств и уровня pH в диапазоне 5,0–5,5. Полученные данные были положены в основу масштабирования технологического процесса и наработки укрупненных партий готового продукта массой 1,5 кг в лабораторном вакуумном реакторе-гомогенизаторе *Axomatic Axomix 2*. Эмульгирование кремовых основ осуществлялось при температуре 75–78 °C, давлении – 0,5 бар, скорости донного гомогенизатора 3000 об/мин (в течение 2–3 минут) и при параллельной работе якорной мешалки со скребками (40–60 об/мин). Изготовление сыворотки осуществлялось без нагрева при вакуумметрическом давлении до –0,8 бар для заключительной деаэрации системы.

В рамках дальнейшей работы запланировано проведение полного цикла испытаний образцов, полученных в лабораторном вакуумном реакторе-гомогенизаторе, на стабильность в течение 3 мес. (для подтверждения 2 лет срока годности) в условиях повышенных и пониженных температур, а также прохождение обязательного микробиологического контроля. На заключительном этапе планируется проведение потребительских испытаний на фокус-группе из 10 человек. Испытания включают объективный инструментальный анализ состояния кожи лица на приборе *CLREO-I* для верификации эффективности и переносимости разработанных средств; по результатам предусмотрено оформление акта внедрения технологических карт в производственный процесс.

А. Е. Прохорова, А. Ю Кузнецов., И. А. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПЛАВАЮЩИЕ СОРБЦИОННОАКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ежегодно большое количество водоемов России и Северо-Западного региона в частности подвергается загрязнению нефтью и продуктами ее переработки. Всего 1 л нефти лишает кислорода 40 $м^3$ воды. Для очистки воды от загрязнений применяется несколько способов:

- механические и физико-химические - это фильтрование через специальные фильтры и локализация нефтяного пятна при помощи боновых заграждений;
- биологические – очистка при помощи микроорганизмов, способных разлагать нефть;
- реагентные – внесение специальных растворов, которые обволакивает частицы нефти и после отстаивания смесь расслаивается на нефть, воду и твердые частицы.

В настоящее время для локализации аварийных разливов используют боновые заграждения, а для их ликвидации успешно применяется сорбционный метод. Основные преимущества этого метода: степень очистки от нефтяных загрязнений близка к 100%; высокая эффективность при удалении тонких (менее 1 мм) пленок нефти с поверхности воды; простота в реализации и обслуживании. Поэтому разработка новых типов нефтесорбентов является актуальной задачей.

В качестве полимерной пористой матрицы использовали поливинилформаль, в качестве наполнителей использовались природные возобновляемые материалы – торф и опилки, а также известный сорбент -активированные угли.

В результате были получены образцы со степенями наполнения от 10 до 60%, а также ненаполненный образец для сравнения. На образцах были изучены кажущаяся плотность, плавучесть, а также маслоемкость образцов (по маслу ТАД-17).

Кажущаяся плотность увеличивается с введением наполнителя. Так, ненаполненный образец характеризуется кажущейся плотностью 118 кг/м^3, наполненный 10 % торфа – 160 кг/м^3, 10 % угля – 265 кг/м^3, 10 % опилок – 175 кг/м^3. Также увеличение степени наполнения увеличивает значения кажущейся плотности. Наибольшая кажущаяся плотность – у образцов, наполненных 60 % угля 350 кг/м^3. Наименьшая – у образцов, наполненных 60 % торфа 215 кг/м^3.

Плавучесть необходима для того, чтобы материалы не тонули и их можно было собрать после использования. Все образцы характеризуются положительной плавучестью более 6 суток.

Наилучшими сорбционными характеристиками обладают композиционные материалы, наполненные торфом, так как они наиболее пористые. Их маслоемкость составляет от 8,6 кг/кг сорбента (для степени наполнения 10%) до 10,7 кг/кг сорбента (для степени наполнения 60%). Невысокие значения маслоемкости образцов, наполненных опилками, объясняются недостаточно развитой пористой структурой полученных блоков. Их максимальная маслоемкость составляет 7,3 кг/кг сорбента (для степени наполнения 60%). Композиционные материалы, наполненные углем, имеют среднюю маслоемкость благодаря развитой, равномерной пористой структуре, несмотря на большую кажущеюся плотность. Их маслоемкость составляет от 7,9 кг/кг сорбента (для степени наполнения 10%) до 8,9 кг/кг сорбента (для степени наполнения 60%). Маслоемкость ненаполненного образца составляет 6,2 кг/кг сорбента.

С. А. Попова, В. В. Васильева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ ДЛЯ ГЕРНИОПЛАСТИКИ

Сетчатые эндопротезы из полимерных нитей широко применяются в методике «ненатяжной» пластики грыж передней брюшной стенки (герниопластики). Использование сеток позволяет закрыть грыжевые ворота без избыточного натяжения, что значительно снижает риск рецидива заболевания. Эндопротезы представляют собой мелкоячеистую сетку, функциональность которой определяется химическим составом полимера, структурой нитей, характером переплетения, размером пор и деформационными свойствами конструкции. Оценка качества таких изделий требует учета как механических характеристик, так и особенностей их взаимодействия с окружающими тканями в процессе длительной эксплуатации.

Стандартизация сетчатых имплантов для герниопластики сталкивается с рядом фундаментальных и прикладных проблем из-за отсутствия жестких универсальных регламентов на международном и национальных уровнях хирургии. Нормативную основу оценки хирургических имплантатов составляет ГОСТ Р ИСО 14630–2017

«Имплантаты хирургические неактивные. Общие требования», устанавливающий основные нормы к данной категории изделий. Стандарт предусматривает учёт механических свойств материалов, особенностей конструкции, деградации и износа имплантата. Вместе с тем общие положения этого документа следует отличать от специализированных методов определения физико-механических характеристик сетчатых эндопротезов. Дополнительные аспекты оценки имплантируемых изделий, связанные с биологической безопасностью, рассматриваются в ГОСТ ISO 10993–1–2021 [2], однако это не заменяет механических испытаний. Специализированные методы исследования сетчатых эндопротезов предусмотрены в ГОСТ Р 59675–2021 «Материалы хирургические имплантируемые синтетические рассасывающиеся. Метод деградации in vitro». В частности, обязательное приложение Включает определение поверхностной плотности, толщины, разрывных характеристик и объёмной пористости, в том числе после экспозиции в модельной среде. Между тем область применения данного стандарта ограничена изделиями из синтетических рассасывающихся полимерных материалов и не может в полной мере распространяться на постоянные нерассасывающиеся эндопротезы.

Механическая оценка сетчатых эндопротезов осложняется особенностями их поведения под нагрузкой: характеристики сеток могут зависеть от направления нагружения, а также от условий и продолжительности механического воздействия [4]. При этом выбор методики испытаний, геометрии образцов и условий эксперимента влияет на получаемые результаты и затрудняет сопоставление данных разных исследований. В научной литературе уже представлен воспроизводимый протокол оценки синтетических сеток, включающий испытания на продавливание шаром, одноосное растяжение и определение прочности удержания шва [4]. Эти данные позволяют поставить вопрос о том, насколько существующие нормативные документы обеспечивают единообразие механической оценки постоянных полимерных сеток, применяемых в герниопластике.

Таким образом, актуальной проблемой стандартизации является обеспечение достаточности и сопоставимости методов испытаний постоянных полимерных сетчатых эндопротезов. Особого внимания требуют унификация условий определения механических характеристик, учёт структурных особенностей готового изделия и оценка его поведения при длительном нагружении. Систематизация действующих нормативных требований и научных подходов позволит определить, какие характеристики уже обеспечены стандартизованными методами, а какие требуют дополнительного методического обоснования.

Руководитель: доцент кафедры ИММ,канд. техн. наук В. В. Васильева

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14630–2017. Имплантаты хирургические неактивные. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: из ИС «МЕГАНОРМ». (дата обращения: 15.10.2026).
2. ГОСТ ISO 10993-1–2021. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 1. Оценка и исследования в процессе менеджмента риска: межгосударственный стандарт [Электронный ресурс]. Режим доступа: из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». (дата обращения: 17.10.2026).

3. Civilini V., Giacalone V., Audenino A.L., Terzini M. Надёжный и воспроизводимый протокол испытаний для механической оценки синтетических сетчатых эндопротезов // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2023. Т. 144. Ст. 105987. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2023.105987 [Электронный ресурс]. URL: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105987. (дата обращения: 18.10.2026).

Н. В. Переборова, В. В. Евдокимов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Перед отечественной промышленностью, занимающейся производством текстильных материалов различного технического назначения, в настоящее время все чаще встают задачи комплексного развития производства товаров на базе современных методов управления качеством продукции на основе передовых информационных технологий [1].

Ускорение научно-технического прогресса и повышение конкурентоспособности продукции способствуют разработке все новых перспективных инновационных технологий управления качеством продукции [2].

Немаловажной задачей исследования является также разработка методических основ управления качеством продукции, как в рыночных условиях, так и в условиях импортозамещения [3].

Разрабатываемые инновационные технологии контроля и повышения качества производимой продукции предлагается ввести уже не только на стадии производства готовой продукции, но и на стадии выполнения проектно-технологических исследований [4].

Указанные методики разрабатываются на основе методов математического моделирования физико-механических характеристик текстильных материалов и проведения системного комплексного анализа потребительских свойств проектируемых изделий с учетом применения передовых информационных технологий и вычислительных методов [5].

Одной из разрабатываемых методик контроля и повышения качества текстильной продукции является методика, использующая интегральный критерий качества деформационных свойств исследуемых материалов, в основе которого заложен спектральный анализ релаксационных и деформационно-восстановительных процессов текстильных материалов [6].

Суть предлагаемого метода опишем на примере исследования деформационно-релаксационных свойств полимерной текстильной нити [7].

Прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных нитей существенно зависит от нескольких факторов: точности экспериментальных данных, адекватности физической модели вязкоупругости, оптимального построения математической модели [8].

Увеличение точности проведения эксперимента можно добиться использованием более точной измерительной аппаратуры и ростом объема испытаний с целью повышения репрезентативности экспериментальных данных [9].

Для совершенствования физической модели вязкоупругости необходимо сочетать исследование образцов синтетических нитей не только на макроуровне, но и на микроуровне, что сопряжено с объективными трудностями [10].

Альтернативой повышению точности прогнозирования деформационных процессов синтетических нитей может служить стремление к оптимизации математической модели в рамках рассматриваемой физической модели вязкоупругости [11].

В настоящее время общепризнанным в теории нелинейно-наследственной вязкоупругости полимеров считается физический подход, основанный на идее Александрова-Гуревича [12] учета активирующего влияния приложенного напряжения или деформации на ускорение деформационных процессов.

Основой же построения математических моделей нелинейно-наследственной вязкоупругости является принцип Больцмана суперпозиции откликов на предысторию деформирования, аналитически выраженный в интегральных соотношениях Больцмана-Вольтерра.

Так для случая нелинейно-наследственной релаксации рассматривается интегральное уравнение [14]

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

где

t - время,

ε_t - деформация,

σ_t - напряжение,

E_o - модуль упругости,

E_∞ - модуль вязкоупругости,

$\phi'_{\varepsilon t}$ - ядро релаксации.

Аналогичное уравнение имеет место для случая нелинейно-наследственной ползучести [15]

$$\varepsilon_t = D_0\sigma_t + \left(D_\infty - D_0\right)\cdot\int_0^t \sigma_\theta \cdot \varphi'_{\sigma;t-\theta} d\theta\,, \qquad (2)$$

где

D_o - начальная упругая податливость,

D_∞ - предельно-равновесная податливость.

Наличие нескольких математических моделей, основанных на разных функциях релаксации и запаздывания, оправдано, так как позволяет получать независящие друг от друга результаты прогнозирования деформационных процессов [16].

Вязкоупругие характеристики, полученные усреднением деформационных характеристик, определенных с помощью различных методик, обладают большей степенью достоверности и устойчивости, чем характеристики, полученные по единственной методике [17].

При аппроксимации процессов релаксации и ползучести нормированными функциями возникает вопрос о правомерности такого подхода [18].

Ответ на данный вопрос дают критерии правдоподобия, применение которых позволяет оценить значение относительной погрешности такой аппроксимации [19].

Компьютеризация указанных критериев позволяет получить наглядное средство подтверждения достоверности рассчитанных вязкоупругих характеристик.

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Макаров А.Г., Демидов А.В., Сталевич А.М. Вариант моделирования нелинейно-наследственной вязкоупругости полимерных материалов // Механика твердого тела. 2009. № 1. С. 155-165.
2. Дроботун Н.В., Слуцкер Г.Я., Макаров А.Г. Метод расчета компрессионного трикотажа для лечения варикозного расширения вен // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. № 3. С. 36-39.
3. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Литвинов А.М., Федорова С.В. Прогнозирование процессов обратной релаксации полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. № 4. Т. 6. С. 54-57.
4. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Фёдорова С.В., Лебедева С.В.. Компьютерное моделирование вязкоупругих морских полимерных канатов // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 1 (12). С. 100-105.
5. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Пушкарь Д.В. Прогнозирование процессов обратной релаксации полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2010. № 1. С. 64-65.
6. Макаров А. Г., Ростовцева Н. Г., Артемьева Е. Н., Лебедева С. В.. Моделирование деформационных свойств арамидных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 2 (13). С. 25-29.
7. Макаров А.Г., Ростовцева Н.Г., Лебедева С.В., Каланчук О.Э. Моделирование нелинейно-наследственной ползучести геотекстильных нетканых материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3 (14). С. 68-71.
8. Макаров А.Г., Каланчук О.Э., Пушкарь Д.В., Ростовцева Н.Г. Компьютерное моделирование и прогнозирование деформационных процессов парашютных стоп // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 4 (15). С. 83-87.
9. Демидов А.В., Артемьева Е.Н., Каланчук О.Э. Определение энергии активации процессов релаксации и ползучести полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2010. №2. С. 39-43.
10. Горшков А.С., Макаров А.Г., Рымкевич О.В., Рымкевич П.П. Математическое моделирование процессов нестационарной теплопроводности через многослойные изделия текстильной и швейной промышленности // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 4 (15). С. 88-92.
11. Ростовцева Н.Г., Абрамова И.В., Макаров А.Г. Вариант прогнозирования упругой, вязкоупругой и пластической компонент деформации полимерных нитей // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. № 1. С. 53-56.
12. Дроботун Н.В., Слуцкер Г.Я., Макаров А.Г. Метод расчета компрессионного трикотажа для лечения варикозного расширения вен // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2009. № 3. С. 34-37.
13. Макаров А.Г., Киселев С.В., Рыбачук С.В., Зурахов В.С. Критерии надежности прогнозирования вязкоупругости полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2011. Т. 11. №1. С. 56-60.

14. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Дроботун Н.В. Кинетика ползучести и разрушения полимеров // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 2. С. 82-87.

15. Макаров А.Г., Слуцкер Г.Я., Гофман И.В., Васильева В.В. Начальная стадия релаксации напряжения в ориентированных полимерах // Физика твердого тела. Т. 58. № 4. С. 814-820.

16. Макаров А.Г., Шванкин А.М. Сравнительный анализ физико-механических свойств арамидных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 31. № 1. С. 22-27.

17. 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.

18. Макаров А.Г., Демидов А.В. Прогнозирование деформационно-восстановительного процесса полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 32. № 2. С. 5-9.

19. Макаров А.Г., Киселев С.В., Зурахов В.С., Бусыгин К.Н. Разработка методов математического моделирования и качественного анализа деформационно-эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 4. С. 7-16.

Н. С. Семенов, Н. И. Свердлова, А. Ю. Кузнецов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИСКУССТВЕННЫЙ КАМЕНЬ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ СМОЛЫ И ПРОДУКТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Одним из важных направлений вторичного использования пластика - создание искусственного камня. Применение полимерсодержащих композитов в строительстве является альтернативой натуральным материалам. Большинство видов пластмасс не поддаются биологическому разложению в течение многих десятилетий и остаются в окружающей среде. Методами их переработки являются переплавка или сжигание, которые приводят к загрязнению воздуха, почвы, грунтовых вод. В связи с этим вторичная переработка и утилизация отходов пластмасс приобретает важное экономическое и экологическое значение.

Новые технологические подходы к рациональной переработке синтетических полимеров, которые имеют длительный период сохранения прочностных и физико-химических характеристик после использования по целевому назначению, определяют целесообразность их использования в качестве наполнителей в производстве композиционных материалов.

Новый композиционный материал в состав которого входит измельченный полиэтилентерефталат (ПЭТФ), имеет заданную формы. Изменение состава композита и режима его получения позволяет управлять параметрами его свойств в ожидаемых условиях применения, например, прочностью или теплоизоляцией, в зависимости от требований заказчика.

Искусственный камень на основе полимерных смол и измельченных пластиковых бутылок имеет ряд преимуществ использования не только в экономии и снижении экологической нагрузки на окружающую среду за счет вторичного использования пластика, но

и в возможности варьировать параметры свойств искусственного материала для разных условий эксплуатации, что недоступно при работе с натуральными камнями.

Разрабатываются новые подходы к созданию полимерного камня с определенными заданными свойствами, среди которых: ударная прочность, плотность, влагопоглощение, влагоотдача, теплоизоляция, жаропрочность, трещиностойкость, морозоустойчивость, стойкость к ультрафиолету. Результаты исследований позволили добиться повышения ударной прочности искусственного камня путём добавления крошки ПЭТФ в полимерную смолу, что привело к увеличению прочности изделия на величину более 300% по сравнению с образцом из чистой полимерной смолы. Однако не везде такая высокая прочность необходима. В некоторых экстремальных ситуациях, наоборот, необходимо, чтобы материал легко поддавался разрушению.

Необходимое изменение свойств искусственного камня возможно при подборе разных технологических подходов его получения. Технология заключается в варьировании соотношения вязкотекучей полимерной основы и наполнителя с последующим отверждением. Измельчение пластика в крошку разной величины и формы особым способом, а также комбинации изменения соотношения больших, средних и мелких частиц пластика, отрабатываются системно для того, чтобы получались продукты с предсказуемыми заданными свойствами. Проведенные испытания показали возможность выбора наполнителей с целью получения искусственного камня с требуемыми потребителем свойствами. Полученные образцы искусственного камня эстетически привлекательны, имеют требуемые в строительной индустрии характеристики, могут быть получены в виде изделия заданной формы, которые легко монтируются и обслуживаются в режиме эксплуатации. Предварительные выбор и подготовка наполнителей из сырья вторичной переработки полиэтилентерефталата позволили рекомендовать технологические параметры получения современных строительных материалов с новыми функциональными качествами.

Разработка не только позволит расширить ассортимент материалов из искусственного камня для строительной индустрии, но и оценить их как продукт циркулярного дизайна.

В. В. Костюнин, Т. В. Костюнина, В. Н. Потапов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «УРФУ им. первого президента России Б.Н. Ельцина»

МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ДЕЛИГНИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ РЕАКЦИЯМИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

На базе вихревых технологий создан аппарат (реактор), представляющий собой многофункциональную систему с интегрированными реакциями, сочетающую в себе механоактивацию, сушку, химические реакции и фракционно-функциональное разделение материала. Механоактивация, сушка и химическая трансформация материала намеренно соединяются в едином оборудовании в рамках одного технологического процесса. Предложенный реактор спроектирован таким образом, чтобы обеспечивать непрерывность процесса и контролировать время пребывания частиц в аппарате, тепло- и массообмен, а также качество получаемого продукта. Такой подход позволяет интенсифицировать химическое производство, потенциально может снизить энергопотребление, а, следовательно, и капитальные затраты.

Авторами настоящей статьи проведена серия испытаний по переработке древесных отходов сосны в разработанном многофункциональном реакторе с целью установления возможности получения порошковой целлюлозы. В результате механохимической обработки древесины совместно с перкарбонатом натрия была проведена делигнификация. Перекись водорода, выделяющаяся при разложении перкарбоната натрия, выступает в качестве источника свободных радикалов: окисление лигнина происходит по свободно-радикальному механизму. В качестве интенсификатора процесса окисления выступал дополнительно подаваемый воздух. На выходе из аппарата, получали сухой мелкодисперсный порошок (пудру) от светлого до желтого цвета, в зависимости от количества перкарбоната натрия, участвующего в химической реакции. Установлено, что получаемый порошок хорошо растворим в холодной воде, которая в процессе растворения приобретает темно-коричневый. После отстаивания раствора в течении нескольких часов на дне образуется мелкодисперсный целлюлозосодержащий порошок. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности получения порошковой целлюлозы при использовании предложенного аппарата.

Производители химической продукции, которым приходится работать в условиях ужесточающихся требований к производительности и одновременному сокращению энерго- и материальных затрат, могут рассматривать внедрение многофункциональных реакторов как действенный путь, позволяющий превратить сушку из вспомогательного этапа в неотъемлемый элемент интенсифицированного и экологически более чистого химического производства.

Список литературы

1. Болдырев В.В. Механохимия и механохимическая активация твердых веществ // Успехи химии. 2006. Т. 57. № 3. С. 203-216

2. Авакумов Е.Г. Механохимические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с.

С. В. Киселев, Т. Е. Бальнов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ

Основу исследования физико-механических свойств полимерных материалов составляют феноменологические теории, базирующиеся на эксперименте. Сформулирован принцип учета активирующего влияния механического воздействия в зоне действия неразрушающих нагрузок и деформаций [1].

Важными физико-механическими характеристиками полимерных материалов наряду с модулем релаксации и податливостью признаны времена релаксации и запаздывания, которые не могут быть определены лишь из эксперимента. Для их определения требуется математическое моделирование процесса вязкоупругости [2].

Наиболее простые математические модели релаксации и ползучести строились на общепринятом и физически обоснованном нормальном распределении релаксирующих и запаздывающих частиц по временам релаксации и запаздывания, характеризующим

спектр релаксации и запаздывания [3].

В качестве временной шкалы для удобства использовалась полулогарифмическая шкала приведенного безразмерного времени, хорошо отражающая как большие, так и малые времена [4].

Методы определения физико-механических характеристик и дальнейшего прогнозирования деформационных процессов, основанные на нормальном распределении, успешно применялись к материалам простой макроструктуры, например, к вискозно-лавсановым тканям [5].

Однако с усложнением макроструктуры полимерных материалов происходило и изменение вида распределения - спектры релаксации и запаздывания отражали это усложнение, становились более растянутыми и менее ярко выраженными [6].

Для описания указанных спектров требовалось применение иного распределения, чем нормальное. Такое распределение должно обладать как внешним сходством с нормальным распределением, так и замедленным убыванием, определяющей его плотности при удалении в область больших и малых времен в полулогарифмической временной шкале [7].

Спектрам указанного вида, как было показано экспериментально, соответствует распределение Коши, интегральной функцией которого является нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ) [8].

Таким образом, полимерные материалы и, в частности, синтетические ткани можно разделить на две группы. К первой группе относятся материалы с относительно простым макростроением, спектры релаксации и запаздывания у которых соответствуют нормальному распределению [9].

Ко второй группе относятся материалы с более сложным макростроением, спектры релаксации и запаздывания у которых хорошо описываются производной нормированного арктангенса логарифма приведенного времени, именуемого в дальнейшем распределением НАЛ [10].

Увеличение разновидности полимерных материалов и усложнение их макроструктуры ведет к увеличению второй группы материалов, что определяет актуальность математического моделирования вязкоупругих свойств с использованием распределения релаксирующих и запаздывающих частиц по закону Коши [11].

Методики определения физико-механических характеристик и прогнозирования деформационных процессов материалов второй группы основаны на применении функции НАЛ, которая соответствует распределению Коши релаксирующих и запаздывающих частиц по собственным временам релаксации и запаздывания [12].

Отличительной особенностью такого моделирования является немаловажный факт принадлежности функции НАЛ к классу элементарных функций, что значительно упрощает интегро-дифференциальные преобразования. Применимость указанных методик показана на различных материалах второй группы [13].

Полимерные ткани для спецодежды имеют, в основном, сложное макростроение. Поэтому их можно отнести к материалам второй группы. В силу главной задачи спецодежды - обеспечения безопасности и защиты человека от вредных воздействий, указанные синтетические ткани должны обладать определенными физико-механическими свойствами [14].

К факторам, способным причинить вред организму человека, можно отнести ряд механических воздействий, например, удары, воздействия нагрузки и деформации [15].

В настоящее время уделяется особое внимание разработке и производству тканей для спецодежды, обладающих определенными защитными свойствами, что повышает актуальность изучения физико-механических характеристик указанных материалов и прогнозирования деформационных процессов с их участием [16].

Исследование упругих и рассеивающихся компонент механической работы деформирования позволяет проанализировать вязкоупругие свойства материалов, применяемых в ударозащитных подшлемниках [17].

Здесь важно насколько защитный материал может погасить ударное механическое воздействие. В этом смысле следует положительно отметить увеличение доли рассеивающейся составляющей механической энергии деформирования при увеличении деформации [18].

В тоже время, при небольшой деформации, преобладание упругих компонент деформации и энергии деформирования приводит к тому, что материал хорошо восстанавливается и пригоден для дальнейшего использования [19].

Применение критериев к рассматриваемой плащевой ткани подтверждает гипотезу о распределении НАЛ релаксирующих и запаздывающих частиц, а также достоверность определения среднестатистических времен релаксации и запаздывания [20].

Определение физико-механических характеристик полимерных материалов и прогнозирование деформационных процессов становится точнее и проще с применением вычислительной техники [21].

Поэтому в настоящее время уделяется большое внимание компьютеризации расчетов. Моделирование вязкоупругих свойств получило дальнейшее развитие в виде компьютеризации методик, что позволило автоматизировать процесс вычисления [22].

Компьютеризация вычислений позволяет произвести наилучшим образом выбор математической модели для описания вязкоупругости синтетических материалов [23].

Этот фактор способствует увеличению роли математического моделирования физико-механических свойств, а также стимулирует переход к компьютерным технологиям прогнозирования вязкоупругости [24].

Применение компьютерного прогнозирования, основанного на оптимальном выборе математической модели, способствует повышению степени достоверности прогноза. Более точный расчет деформационных процессов позволяет повысить надежность их прогнозирования [25].

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, Проект № FSEZ-2026-0003.

Список литературы

1. Переборова Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 11-19.

2. Переборова Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции // Дизайн. Материалы. Технология. 2015. № 4 (39). С. 84-92.

3. Переборова Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2015. Т. 29. № 3. С. 35-42.

4. Переборова Н.В., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Математическое моделирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов с целью оценки их функциональных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 69-79.

5. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных процессов полимерных текстильных материалов с целью оценки их эксплуатационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 80-88.

6. Егоров И.М., Переборова Н.В., Кобякова Ю.В., Ананичев Е.А., Каланчук О.Э. Математическое моделирование деформационных процессов полимерных парашютных строп - основа проведения качественной оценки их эксплуатационных свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 3. С. 10-19.

7. Переборова Н.В., Кобякова Ю.В., Ананичев Е.А., Каланчук О.Э. Математическое моделирование процессов релаксации медицинских текстильных эластомеров с целью оценки и улучшения их функционально-потребительских свойств // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 3. С. 61-71.

8. Переборова Н.В., Климова Н.С., Макарова А.А., Александрова М.И. Разработка методов моделирования и оценки функциональных свойств арамидных текстильных материалов специального назначения // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2. С. 126-132.

9. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Разработка методов численного прогнозирования вязкоупруго-пластических свойств морских полимерных канатов // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2. С. 133-140.

10. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Разработка методов математического моделирования и системного анализа функционально-эксплуатационных свойств полиамидных тканей для парашютостроения // Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 3. С. 111-117.

11. Переборова Н.В., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Методология расчетного прогнозирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2020. № 1. С. 5-19.

12. Переборова Н.В., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Разработка методов спектрального анализа и прогнозирования вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2020. № 2. С. 51-63.

13. Переборова Н.В., Климова Н.С., Малюков Ю.А., Зурахов В.С. Математическое моделирование деформационных и релаксационных процессов полимерной пряжи // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2020. № 4. С. 5-11.

14. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Методы повышения конкурентоспособности полимерных текстильных материалов на стадии организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 43-52.

15. Переборова Н.В. Применение критериев качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов для оценки их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 1. С. 101-110.

16. Переборова Н.В., Чалова Е.И. Применение системного анализа для исследования деформационных свойств полиамидных тканей для парашютов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 60-70.

17. Переборова Н.В., Чалова Е.И. Проведение качественного анализа релаксационных и деформационных свойств полиамидных тканей для куполов парашютов при организации их производства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 24-34.

18. Переборова Н.В. Разработка методов качественной оценки эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности с целью повышения их функциональности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2020. № 2. С. 144-155.

19. Переборова Н.В., Ананичев Е.А, Антонова И.А., Коробовцева А.А., Федорова С.В. Методология моделирования и компьютерного прогнозирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2019. № 1. С. 136-145.

20. Переборова Н.В., Абрамова И.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А. Разработка методов повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе компьютерного прогнозирования их релаксационно-деформационных свойств // Дизайн. Материалы. Технология. 2019. № 2 (54). С. 83-89.

21. Переборова Н.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Каланчук О.Э., Абрамова И.В. Разработка методов повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе компьютерного прогнозирования их релаксационно-деформационных свойств // Дизайн. Материалы. Технология. 2019. № 2 (54). С. 106-112.

22. Переборова Н.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А. Вариант прогнозирования усадки и восстановления арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2019. № 1. С. 87-97.

23. Переборова Н.В., Абрамова И.В., Ананичев Е.А., Антонова И.А., Коробовцева А.А. Варианты моделирования деформационно-эксплуатационных свойств полимерных волокнистых материалов сложного строения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2019. № 1. С. 98-107.

24. Козлов А.А., Переборова Н.В., Каланчук О.Э., Ананичев Е.А., Антонова И.А. Использование компьютерного прогнозирования деформационных свойств полимерных парашютных строп для их качественной оценки при организации производства с целью повышения функциональности и конкурентоспособности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 1. С. 20-30.

25. Вагнер В.И., Переборова Н.В., Антонова И.А., Ананичев Е.А., Каланчук О.Э. Разработка методов оптимизации и улучшения функциональности полимерных текстильных материалов на стадии организации их производства с целью повышения конкурентоспособности // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2019. № 1. С. 31-41.

А. А. Соловьёва, А. В. Кандина, Е. Л. Владимирцева

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА

Шерстяное волокно широко востребовано при выпуске разнообразных текстильных изделий особенно в климатических условиях Российской Федерации. Вместе с тем, сложности ее структурного и морфологического строения обусловливают противоречивость свойств этого волокнистого материала. Наряду с положительными качествами, шерстяное волокно проявляет низкую устойчивость к воздействию ультрафиолета, подвержена биоповреждениям и склонна к необратимому свойлачиванию [1].

Задача исследования заключалась в выборе эффективных модификаторов, способных придать шерстяному волокну улучшенные функциональные свойства. В качестве объекта исследования использовали промытую шерстяную ровницу. Для модификации применяли водные сополимерные эмульсии на основе стирола, метакриловой и акриловой кислот, а также их эфиров Рузин-33, Ларус-33П (группа компаний «СВАН», Россия) и полиуретановые дисперсии Аквапол-10 и Аквапол-11 (ООО НПП «Макромер», Россия) [1,2]. Нанесение модифицирующих составов осуществляли методом пропитки: волокна выдерживали в дисперсии в течение 30 секунд, затем отжимали до достижения 100 % привеса и подвергали термофиксации при 150 °С в течение 3 минут. На основании проведенных экспериментов были выбраны оптимальные условия обработки, при которых не ухудшались прочностные характеристики и воздухопроницаемость шерстяных материалов: температура пропитки 20 °С и концентрация полимера 10-30 г/л.

Установили, что присутствие полимерных композиций на волокне дает возможность целенаправленно регулировать эксплуатационные характеристики шерсти: на 60 % увеличиваются теплоизолирующие свойства волокна, одновременно на 50 % снижаются водопоглощение и склонность к свойлачиванию. При использовании полиуретановых дисперсий (Аквапол-10, Аквапол-11) и сополимера Ларус-33П обеспечивается сохранение исходной мягкости волокна. Все использованные в работе композиции придают волокну устойчивость к повреждению молью и гнилостными бактериями. При точном соблюдении рекомендованных технологических параметров обработки, прочностные характеристики волокна не ухудшаются, а с препаратом Аквапол-11, даже несколько увеличиваются.

На основании комплекса экспериментов был определен двойственный характер взаимодействия полимеров с кератином. В первом варианте образуется пленочное покрытие, связанное с белковым волокном только физическим взаимодействием (Рузин-33). Во втором - кроме физических, возникают и химические связи, преимущественно в амидной области кератина, при этом образуется более гибкое покрытие (Ларус-33П, Аквапол-10, Аквапол-11).

В ходе дальнейших исследований планируется создание универсальных модификаторов, способных придавать шерстяным материалам заданный комплекс свойств при сохранении их фундаментальных физико-механических и гигиенических характеристик.

Список литературы

1. Соловьёва А.А., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В. Эффективные технологии модификации шерстяных текстильных материалов // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. Вып. 4. С. 23–29. DOI: 10.6060/rcj.2025694.3.

2. Соловьёва А.А., Владимирцева Е.Л., Одинцов А.С., Шибанова А.К. Модификация шерстяного волокна на основе совместного применения технического углерода и полимерных композиций // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2026. Т. 69. Вып. 9. С. 135–144. DOI:10.6060/ivkkt.20266909.7136.

А. С. Мусихина, В. В. Марценюк

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ПОЛИМЕРНЫЕ И КОМПОЗИТНЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ СПИН-КОУТИНГА ИЗ РАСТВОРОВ И ПРЕМИКСОВ

В последние годы создание тонкопленочных полимерных и композитных материалов привлекает внимание ученых и инженеров. Такие пленки находят широкое применение в гибкой электронике, сенсорных системах, в качестве защитных покрытий и т.д. Одним из наиболее эффективных и воспроизводимых методов формирования тонких пленок является метод спин-коутинга (СК), позволяющий регулировать структуру материала за счет центробежных сил. Метод свободного литья (СЛ) из раствора на подложку с сушкой имеет недостатки: аморфная структура получаемого полимерного материала, нестабильность пленки по толщине и относительно низкие механические свойства. Введение в полимерные матрицы нанонаполнителей существенно улучшает их механические, термические, электрические характеристики.

В исследовании проводился сравнительный анализ полимерных и композитных пленок на основе полиакрилонитрила (ПАН) (тройной сополимер) и фторопласта марки Ф-42В, полученных методами СК и СЛ, в том числе, наполненных графеном (0,1 масс. %). Формование тонких пленок методом СК осуществляли на спин-коутере Spin Coater HANSUN SP4 при скоростях формования до 5500 об/мин. Толщину получаемых пленок измеряли при помощи цифрового микрометра МК, дифференциальную сканирующую калориметрию проводили на приборе Setaram LabSys EVO (с нагревом 10 °С/мин в среде аргона), а работу адгезии (W_a) и когезии (W_k) оценивали по краевому углу смачивания в соответствии с ГОСТ Р 23904-79.

Сравнительный анализ толщин показал, что метод СЛ дает пленки с бóльшими значениями толщины и выраженной разнотолщинностью: для ПАН-пленок – 150-220 мкм, для Ф-42В-пленок – 30-62 мкм. В отличие от СЛ, метод СК позволяет кардинально уменьшить толщину и исключить дефекты, обеспечивая получение монолитных, высокооднородных пленок с упорядоченной структурой. Введение 0,1 масс. % графена расширяет скоростной диапазон формования методом СК (для ПАН-пленок – до 5500 об/мин, для Ф-42В-пленок – до 3000 об/мин), что позволяет получать ультратонкие композитные пленки: до 3 мкм и до 5 мкм для Ф-42В и ПАН-пленок соответственно.

Данные дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) подтверждают формирование выраженной кристаллической структуры при формовании методом СК за

счет центробежной ориентации макромолекулярных цепей: пик предокисления ПАН в СК-пленках смещается в высокотемпературную область (с 277 °С у СЛ-пленок до 285 °С у СК-пленок), а наполнение графеном повышает температуру начала предокисления ПАН пленок с ~190 °С до 243 °С. Также обнаружено, что для термопластичного и растворимого фторопласта Ф-42В графен служит искусственным центром кристаллизации, значительно увеличивая энтальпию фазового перехода.

Исследование смачиваемости и построение графиков Зисмана выявили, что введение графена придает пленкам гидрофобность. При этом СК-пленки обладают пониженной работой адгезии и более высокой работой когезии по сравнению с пленками, полученными методом СЛ. Например, при определении краевого угла смачивания по воде, W_a составляет 116 мДж/м^2 для ПАН-СК против 107 мДж/м^2 у ПАН-СЛ, что может быть следствием более плотной упаковки полимерных цепей.

А. С. Аниськевич, М. П. Смирнова, А. А. Буринская

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

БИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ

Биологический синтез наночастиц серебра (НЧAg) с использованием растительных экстрактов представляет интерес как альтернатива традиционным химическим и физическим методам получения наноматериалов. Химические соединения, которые содержатся в различных частях растений в результате экстрагирования способны выступать в качестве восстановителей и стабилизаторов. При этом состав экстракта зависит как от природы экстрагента, так и условий извлечения биологически активных веществ (БАВ). Это может влиять на размер и морфологию наночастиц. Перспективным растительным сырьем является крапива двудомная (лат. *Urtica dioica* L.) за счет наличия восстановителей и стабилизаторов: дубильные вещества, аскорбиновая кислота, аминокислоты, хлорофилл и др.

Цель работы заключалась в изучении влияния экстрактов крапивы двудомной на характеристики наночастиц серебра и оценивании их способности подавлять рост плесневых грибов.

Получение экстрактов осуществляли двумя способами: с использованием дистиллированной воды и легкоплавкого водородно-связанного комплекса (ЛПВСК) на основе глюкозы, молочной кислоты и воды (в соотношении 1:1:1). Титриметрическими методами [1-2] в экстрактах определяли антиоксидантную активность и содержание дубильных веществ.

В качестве прекурсора для синтеза наночастиц серебра применяли раствор нитрата серебра. Образование и морфологию наночастиц оценивали с помощью электронной спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Испытания коллоидных растворов наночастиц на устойчивость к воздействию плесневых грибов выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ 9.048-89.

Установлено, что экстракт на основе ЛПВСК характеризуется более высокими показателями содержания дубильных веществ (3,5%) и антиоксидантной активности (6,4 мг O_2/л) по сравнению с водным экстрактом (3,06% и 5,6 мг O_2/л), соответственно. Максимумы поглощения синтезированных коллоидных растворов находились в

диапазоне длин волн 422-434 нм, что подтверждает образование НЧAg. Но при этом свойства полученных наночастиц различались: в ЛПВСК-экстракте формировались преимущественно анизотропные частицы размером 130-150 нм, тогда как водный экстракт при интенсификации синтеза ультразвуковой обработкой обеспечивал получение преимущественно сферических частиц размером 60-65 нм.

Испытания с использованием *Penicillium chrysogenum* показали, что оба исследованных коллоидных раствора полностью подавляли рост плесневых грибов по сравнению с контрольным образцом. Таким образом, тип экстрагента влияет на размер и форму наночастиц серебра, а полученные растворы обладают выраженной фунгицидной активностью.

Результаты подтверждают перспективность применения растительных экстрактов на примере крапивы двудомной для биологического синтеза наночастиц, предназначенных для придания материалам фунгицидных свойств.

Список литературы

1. Алборова Д.Ф., Сидакова Т.М. Определение дубильных веществ в желудочно-кишечном сборе из растительного сырья // Студенческий научный форум: Материалы IX Международной студенческой научной конференции. URL: https://scienceforum.ru/2017/article/2017039733 (дата обращения: 10.02.2026).

2. Дудина С.Н. Определение антиоксидантной активности БАД // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: сборник трудов Двадцать первой Международной научно-практической конференции (Белгород, 17 июня 2019 г.). Белгород: ООО ГиК, 2019. С. 200–201. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39195799 (дата обращения: 10.02.2026).

М. Ю. Тырышкин, Н. П. Мидуков

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МОДЕЛЬ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ БУМАГИ И КАРТОНА

Шероховатость является одним из главных печатных свойств бумаги и картона. Это свойство определяется микрорельефом поверхности. При формовании бумаги на сеточном столе бумагоделательной машины, после прессования, сушки и наката бумага и картон приобретают гладкую поверхность, выравниваются по толщине. Однако переплетенные друг с другом волокна формируют неровную поверхность, на которую в последующем наноситься печать. Для впадин характерны темные участки, для выступов — более светлые. Таким образом высокая шероховатость вызывает неоднородность оттиска, границы символов на шероховатой поверхности неровные, отчего напечатанный текст (особенно мелкий шрифт) не разборчив.

Стандартные способы оценки шероховатости бумаги и картона основаны на проходимости воздуха через зазоры между прижатым к поверхности бумаги рабочим элементом. Такой экспресс-метод неразрушающего контроля нашел широкое применение при оценке шероховатости печатных видов бумаги. Для гофрокартона, который в большинстве случаев используется в качестве упаковки, такой метод не применим.

Необходим метод оценки шероховатости, который основан на формировании достоверного профиля и его аналитической обработке. Метод должен быть оперативным и способным обрабатывать большой массив данных. При этом анализ и обработка профиля поверхности бумаги и картона должна проводится в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 2789-73 (стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 638—77 и международной рекомендации по стандартизации ИСО Р 468). Схема расчета параметров шероховатости представлена в стандартах.

Исследования проведены в рамках проекта, посвященного созданию модели машинно-аналитического комплекса и ее реализация на базе цифровых технологий при решении задач управления и прогнозирования качества в производстве целлюлозных композиционных материалов. Работа проводилась в рамках реализации совместного российско-белорусского гранта, финансируемого Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга и Государственным комитетом науки и технологии Республики Беларусь.

Целью настоящего исследования является разработка машинно-аналитического комплекса для определения шероховатости поверхности бумаги и картона. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: цифровая обработка изображения микроструктуры поперечного среза многослойного картона; выделение профилей покровного и нижнего слоев; формирование средней линии профилей; аналитическая обработка данных о величине выступов и впадин относительно средних линий; расчет параметров Ra, Rz, Rmax.

В результате был разработан машинно-аналитический комплекс для определения шероховатости поверхности бумаги и картона. Для этого проведена цифровая обработка изображения микроструктуры поперечного среза многослойного картона. Разработан новая программа, которая позволяет выделить профили покровного и нижнего слоев, сформировать средние линии профилей и провести аналитическую обработку данных о величине выступов и впадин относительно средних линий. Основным результатом работы является расчет параметров Ra, Rz, Rmax. Для покровного слоя двухслойного картона эти показатели составили: Ra=4,1 мкм; Rz=10,3 мкм; Rmax=24,7 мкм. Для нижнего слоя — Ra=10,1 мкм; Rz=18,1 мкм; Rmax=53,9 мкм.

Эти данные согласуются с данными расчета шероховатости бумаги и картона, представленными в предыдущих работах. Однако для проверки прецизионной разработанного способа и точности работы предлагаемого алгоритма требуется большая подборка образцов с разной шероховатостью поверхности с расчетом по существующим стандартным методам и по предлагаемому способу.

Е. О. Тарханова, А. А. Соловьёва, Е. Л. Владимирцева, Ф. А. Быков

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ПОВЫШЕННОЙ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН

Цель работы – получение композиционного материала с повышенной сорбционной активностью на основе целлюлозных волокнистых материалов (хлопковых и льняных) при закреплении на их поверхности частиц алюмосиликатов – натурального (НБ) и обогащенного оксидом титана (TiO_2) методом пилларирования (МБ) бентонитов. В качестве объектов исследования использованы отходы производства

хлопчатобумажных и льняных материалов. Частицы бентонита удерживаются в микродефектах структуры, которых много в низкосортном сырье. Привес после обработки составил 5,6 % для НБ и 8,4 % для МБ. Большее содержание модифицированных частиц объясняется их меньшим размером и более равномерным распределением заряда в кристаллической решетке [1]. Иммобилизация алюмосиликатов синергически повышает сорбционную активность волокнистых материалов по отношению к органическим красителям, способствуя их удалению из сточных и промывных вод.

Для оценки сорбционной активности исходное и модифицированное волокно окрашивали метиленовым синим (5–45 мин). Эффективность оценивали по интенсивности окраски волокна и оптической плотности раствора красителя. Результаты показали, что сорбционные характеристики волокна, обогащенного частицами алюмосиликатов, значительно выше, чем у исходного. Однако изменение окраски носит экстремальный характер: вероятно, после 30 мин интенсивного перемешивания начинается вымывание бентонита из структуры волокна. При этом волокно, обработанное МБ, демонстрирует более низкую сорбционную активность по сравнению с НБ, однако присутствие оксида титана впоследствии обеспечивает фотокаталитическое разрушение сорбированного красителя до безопасных соединений под действием УФ-излучения или инсоляции, благодаря чему становится возможным повторное применение разработанного адсорбента.

Таким образом, присутствие частиц НБ и МБ оказывает разнонаправленное влияние на сорбционную активность хлопкового волокна, а натуральные волокна и минералы обеспечивают биоразлагаемость фильтрующих материалов и экологичность их утилизации. Модификация текстильных материалов природными и пилларированными бентонитами позволяет целенаправленно регулировать их сорбционные свойства, что перспективно для производства недорогих и экологичных технических материалов различного назначения.

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

Список литературы

1. Butman M.F., Ovchinnikov N.L., Karasev N.S., Kochkina N.E., Agafonov A.V., Vinogradov A.V. Photocatalytic and adsorption properties of TiO2-pillared montmorillonite obtained by hydrothermally activated intercalation of titanium polyhydroxocomplexes // Beilstein J. Nanotechnol. 2018. V.9. P.364–378.

2. Овчинников Н.Л., Владимирцева Е.Л., Быков Ф.А., Изюмова О.С., Бутман М.Ф. Получение самоочищающихся композитов шерстяное волокно – TiO2-пилларный монтмориллонит с УФ-протектными свойствами // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2023. Т. 59. № 3. С. 298-304.

Д. М. Бхану, А. А. Шарапова, А. А. Буринская

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СИНТЕЗ СТАБИЛЬНЫХ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ И ОЦЕНКА ИХ ФУНГИЦИДНЫХ СВОЙСТВ

Медьсодержащие наночастицы представляют интерес для разработки функциональных материалов благодаря доступности исходных реагентов и возможности применения в технологиях модификации поверхностей, фотокатализа и защиты материалов от биологического повреждения. Целью настоящей работы являлись синтез стабильных коллоидных растворов медьсодержащих наночастиц и оценка их активности в отношении плесневых грибов.

Коллоидные растворы получали методом химического восстановления. В качестве прекурсора использовали сульфат меди $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, в качестве восстановителя – аскорбиновую кислоту. Синтез проводили в водных растворах стабилизаторов: полиэтиленгликоля с молекулярной массой 400 и 1500 (ПЭГ-400, ПЭГ-1500), поливинилпирролидона (ПВП), желатина, агар-агара и альгината натрия. Концентрация стабилизаторов составляла 0,1 %. Значение pH реакционной среды доводили до 10 с помощью 10 %-го раствора NaOH. Полученные коллоидные растворы исследовали методом электронной спектроскопии на спектрофотометре УФ-6700.

В ходе эксперимента получены коллоидные растворы медьсодержащих наночастиц, для которых зарегистрированы характерные полосы поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. На спектрах выявлены максимумы в диапазоне 300-350 нм, соответствующие оксиду меди (I) Cu_2O; в ряде образцов дополнительно наблюдалось поглощение в области 370-470 нм, характерное для оксида меди (II) CuO, а также в области 500-560 нм, относящиеся к металлической меди Cu^0. Таким образом, спектроскопические исследования показали образование медьсодержащих наночастиц различного фазового состава.

Фунгицидные свойства полученных систем оценивали в соответствии с ГОСТ 9.048-89. Испытания проводили в стандартных условиях при температуре (29 ± 2) °C и относительной влажности воздуха 90 % при использовании среды Чапека-Докса. Для активации фотокаталитического действия медьсодержащих наночастиц коллоидные растворы предварительно облучались ультрафиолетовым светом. Результаты испытаний сопоставляли с контрольными образцами. Установлено подавление развития плесневых грибов при использовании полученных медьсодержащих наночастиц, которое составило 80%. Предварительное облучение позволило достигнуть 100 % ингибирования роста плесневых грибов.

Синтезированные коллоидные растворы медьсодержащих наночастиц исследованы с помощью УФ-спектроскопии. Экспериментально подтверждена фунгицидная активность полученных систем, увеличивающаяся при ультрафиолетовом облучении. Результаты работы свидетельствуют о перспективности применения медьсодержащих наночастиц для придания материалам защитных свойств и модификации поверхностей.

Н. П. Мидуков[1], М. А. Зильберглейт[2], В. С. Куров[1], М. В. Колосова[1], Д. В. Сербул[1], А. В. Ильин[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
[2] Белорусский государственный технологический университет

МОДЕЛЬ МАШИННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕЁ РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработка модели машинно-аналитического комплекса осуществляется с целью снижения брака при производстве волокнистых целлюлозных композиционных материалов (ЦКМ). Научно-технический проект реализуется при финансовой поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга и Государственного Комитета по науке и технологиям Республики Беларусь.

В рамках проекта на первом этапе проводиться критический анализ информации по разработке стереолитографических моделей топографии поверхности волокнистых материалов, патентный поиск по существующим базам данных зависимостей печатных свойств волокнистых ЦКМ от характеристик исходного сырья на основе макулатуры. По итогам первого этапа подбираются ближайшие аналоги и выбирается прототип машинно-аналитического комплекса для решения задач управления и прогнозирования качества при производстве ЦКМ.

На втором этапе исследуется топография поверхности ЦКМ с учётом неоднородности и нестабильности сырья на основе вторичных волокон. Для этого образцы волокнистого композиционного материала изготавливаются в соответствии с международными и российскими стандартами в лабораторных условиях. Волокнистый композиционный материал изготавливается с помощью листоотливного аппарата, после чего оцениваются его печатные свойства (такие как белизна, непрозрачность, яркость, флоуресценция, цветовое различие относительно эталона, периметр и площадь напечатанных символов). Одновременно полученные образцы просматривают в электронный и стереомикроскоп. На этом этапе изучаются методы создания стереолитографических моделей поверхности ЦКМ с особым акцентом на определение параметра шероховатости Ra.

На третьем этапе разрабатываются стереолитографические модели топографии поверхности готовой продукции с помощью оптической стереомикроскопии. На основе полученных микроснимков с помощью стереомикроскопа и с использованием поворотного стола и светового решения создаются 3D-модели поверхности ЦКМ, представляющие собой стереолитографическое файлы. По принципу фотограмметрии с использованием нейронной сети осуществляется формирование топографии поверхности ЦКМ и её редактирование. С помощью программы с открытым исходным кодом рассчитывается среднеарифметическое значение шероховатости Ra для образцов.

На следующем этапе проводиться анализ данных полученных опытных образцов в лаборатории с использованием различной композиции макулатуры, определяются взаимосвязи между топографией поверхности материала и печатными свойствами готовой продукции. На данном этапе полностью сформированы количественные показатели шероховатости, полученные по стереолитографическим моделям поверхности ЦКМ и печатных свойств с использованием классифицированной макулатуры. На этом же этапе осуществляется контроль качества полученных образцов. Также определяются свойства опытных образцов в лаборатории с

использованием различной композиции классифицированной макулатуры. Устанавливаются взаимосвязи между топографией поверхности материала и печатными свойствами готовой продукции.

По результату проведённой научной работы на следующий год запланирована разработка машинно-аналитического комплекса.

А. А. Шарапова, А. А. Буринская

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ СУБСТРАТОВ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЦИНКА ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Очистка сточных вод красильно-отделочных производств от устойчивых органических соединений, в том числе красителей, представляет актуальную задачу химической технологии. Целью работы являлось получение модифицированных углеродных субстратов и оценка их фунгицидных и фотокаталитических свойств для очистки и обеззараживания сточных вод.

Методом химического синтеза получены коллоидные растворы наночастиц ZnO с использованием сульфатов цинка в качестве прекурсора. В состав реакционных систем вводили стабилизатор ПЭГ-1500. Концентрацию прекурсора варьировали в интервале 0,8-1,2 мМ. Образование дисперсных систем исследовали методом электронной спектрофотометрии с использованием прибора УФ-6700. Для получения функциональных материалов использовали углеродное волокно и активированный уголь, которые обрабатывали синтезированными коллоидными растворами при кипении в течение 1 ч с последующим высушиванием.

Методом сканирующей электронной микроскопии установлено закрепление наночастиц на поверхности углеродного волокна и в поровом пространстве активированного угля. Средний размер наночастиц ZnO составлял в среднем 30-60 нм. Фунгицидную активность коллоидных растворов оценивали по подавлению роста плесневых грибов. Снижение роста микроорганизмов составило 99,7 % для систем на основе ZnO, что позволит обеззараживать сточные воды и предотвратит их загнивание.

Фотокаталитические свойства модифицированных субстратов исследовали при ультрафиолетовом облучении модельных растворов красителей: метиленового синего, метилового оранжевого, активного красного ЖТ и активного тёмно-синего 2КТ. Эффективность обработки оценивали по снижению оптической плотности растворов красителей. Наиболее выраженное снижение оптической плотности получено при использовании углеродного волокна, модифицированного наночастицами ZnO, синтезированными при концентрации прекурсора 0,8 мМ. Для метиленового синего оптическая плотность снижалась с 1,8 до 0,5, для метилового оранжевого – с 1,8 до 0,4, для активного красного ЖТ – с 1,6 до 0,2, для активного тёмно-синего 2КТ значение показателя снизилось с 1,5 до 0,5 при использовании волокна с наночастицами ZnO.

Таким образом, получены углеродные субстраты с закреплёнными наночастицами оксида цинка, проявляющие способность снижать содержание окрашенных соединений в модельных водных растворах при УФ-облучении. Результаты подтверждают перспективность применения модифицированного углеродного волокна в системах фотокаталитической доочистки сточных вод текстильных предприятий.

А. С. Жданова, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОЗДАНИИ КОСМЕТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ДЕМАКИЯЖА

Средства для демакияжа лица необходимы, чтобы удалять декоративную косметику (тональное средство, консилер, тушь, тени для век, губную помаду и другие средства) с кожи. Демакияж – важный этап вечернего очищения кожи, который позволяет удалить не только косметику, но и излишки себума, городские загрязнения и частицы пыли. Если пропускать этот этап, процессы обновления клеток кожи замедляются, поры забиваются, и, как следствие, появляются воспаления, тусклый цвет кожи и преждевременные морщины. В средствах для демакияжа основу составляет композиция поверхностно-активных веществ (далее – ПАВ), обладающих высокой смачивающей, солюбилизирующей, эмульгирующей и диспергирующей способностями, благодаря своему амфифильному строению – ПАВ содержат полярную часть (гидрофильный компонент), и неполярную углеводородную часть (гидрофобный компонент).

В настоящей работе исследовались неионогенные ПАВ, выпущенные заводом АО «ВЗСП», в том числе: пентол, сорбитанолеат, глицерил стеарат, олеат ПЭГ-400, олеат ТЭГ, глицерил олеат, фосфат олеата ПЭГ-400, лаурат ПЭГ-400, а также гидрогенизированное касторовое масло (ПЭГ-40).

Современные средства для снятия макияжа должны обеспечивать эффективное удаление водостойких декоративных продуктов (пигментов, силиконов, масел) при минимальном раздражающем действии на кожу и слизистые. Использование композиции ПАВ позволяет за счет синергетического эффекта достичь оптимального баланса между очищающей способностью, дерматологической мягкостью и стабильностью композиции.

В ходе работы получены образцы средств для демакияжа по следующей рецептуре, %:

жирные кислоты масла Ши……	15,0
воск рисовых отрубей……	3,0
цетеариловый спирт……	4,0
композиция из 2-х ПАВ…….	6,0
карбонат натрия……...	0,5
гидроксид натрия…….	0,5
глицерин……	7,0
композиция эфирных масел ……	0,06
вода……	до 100 г

Согласно органолептической оценке, полученные образцы представляют собой однородную непрозрачную густую массу белого цвета.

Все полученные образцы исследовали на соответствие государственным стандартам для подбора композиции ПАВ, обеспечивающей стабильность в течение всего срока годности продукта.

Определение водородного показателя 10%-го раствора средства для демакияжа проводилось потенциометрическим методом при комнатной температуре, согласно ГОСТ 29188.2 «Продукция парфюмерно-косметическая. Метод определения водородного показателя pH». Полученные значения pH находятся в пределах от 8,0 до 8,5, что соответствует ГОСТ 31696–2012 «Продукция косметическая гигиеническая моющая».

При определении коллоидной стабильности методом центрифугирования полученные образцы средств для демакияжа показали высокую стабильность. Методом ускоренного старения при 40 °C в течение 24–48 ч подтверждена термостабильность образцов.

В дальнейшем будут проведены исследования очищающей способности с использованием модельных загрязнений (тональный крем, губная помада, водостойкая тушь) при стандартизированной процедуре очищения ватным диском, что поможет определить наиболее эффективное сочетание ПАВ, дающее синергетический эффект.

Г. В. Ходак, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

СИНТЕЗ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА КОБАЛЬТА (II,III)

Наночастицы оксида кобальта с переменной валентностью (II, III) обладают сочетанием полупроводниковых, магнитных, каталитических и антибактериальных свойств. Благодаря высокой электронной проводимости и стабильности, Co_3O_4 является перспективным материалом для систем хранения и преобразования энергии. Материал служит эффективным электродом для суперконденсаторов – устройств, способных отдавать энергию очень мощными импульсами. Большая удельная поверхность наночастиц Co_3O_4 обеспечивает высокую каталитическую активность, что используется для разложения органических загрязнителей, таких как промышленные красители. Гибридные пленки на основе этих наночастиц способны разложить до 90% метилового оранжевого всего за 30 минут под воздействием солнечного света. Оксид кобальта способен обратимо восстанавливаться, что делает его перспективным компонентом систем очистки выхлопных и промышленных газов. В биомедицинской сфере наночастицы оксида кобальта ценятся за свои антибактериальные и магнитные свойства, что делает его перспективным для создания покрытий медицинских инструментов, имплантатов и создания магнитных нанокомпозитов, которые могут применяться в адресной доставке лекарств или в качестве контрастных агентов для магнитно-резонансной томографии.

В настоящей работе синтез магнитных наночастиц оксида кобальта (II, III) проводили золь-гель методом при 70 ºС и постоянном перемешивании с введением гидрата аммиака $NH_3 \cdot H_2O$ и цитрата натрия. В качестве прекурсора использовали сульфат кобальта (II) $CoSO_4$ в концентрациях 0,005–0,02 М. При взаимодействии прекурсора с гидратом аммиака образуется гексаамминкобальт (III) сульфат $[Co(NH_3)_6]_2SO_4$. Затем при введении цитрата натрия происходит замещение аммиачных лигандов и образуется аморфный цитратный комплекс кобальта. При этом происходит восстановление части Co (III) до Co (II). Образуется гелеобразная масса (золь-гель), где цитрат прочно связывает ионы кобальта в единую полимерную сетку.

Спектрофотометрический анализ показал наличие максимумов поглощения при длине волны 510–512 нм, что подтверждает образование комплексного соединения кобальта и соответствует переходному состоянию между растворенным комплексом и формирующейся нанофазой.

Высушенный гель подвергают нагреванию в печи при температуре 400–500 °С. Органическая часть (цитрат) окисляется и сгорает. Ионы кобальта в присутствии кислорода воздуха кристаллизуются, образуя наночастицы. Поскольку в золь-геле уже присутствует смесь Co (II) и Co (III), и при прокаливании в воздухе происходит окисление, конечным продуктом является оксид кобальта (II, III) Co_3O_4.

Полученный Co_3O_4 имеет наноразмеры от 50 до 100 нм, что подтверждено исследованиями с использованием сканирующего электронного микроскопа *TESCAN VEGA3*. Рентгеноструктурный анализ полученного наноразмерного порошка показал содержание кобальта составляет 2,4 ат.%, кислорода 54,6 ат.%, остальные 43 ат.% приходятся на примеси Na и S.

А. П. Макеева, Е. В. Кудрявцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРО- И ОЛЕОФОБНЫХ АГЕНТОВ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИМИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для придания текстильным материалам гидро- и олеофобных (масло- и водоотталкивающих) свойств используют вещества, способные создавать на поверхности волокна низкокритическую поверхностную энергию. Чем ниже поверхностная энергия, тем труднее маслу (поверхностное натяжение которого в среднем составляет 20–30 мН/м) растекаться по материалу.

Современные олеофобные агенты можно разделить на три основные группы по химическому строению: фторсодержащие полимеры, кремнийорганические соединения (силиконы) и гибридные/углеводородные соединения (менее эффективны, чаще используются в комбинации).

Фторсодержащие полимеры – наиболее эффективный класс веществ для придания тканям олеофобности. Их эффективность обусловлена наличием длинных перфторированных боковых цепей ($–C_nF_{2n+1}$). Фтор создает самую низкую поверхностную энергию (около 6–10 мН/м), что ниже поверхностного натяжения практически всех органических жидкостей. Несмотря на широкое применение в промышленности, они являются токсичными и оказывают негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, поэтому предпочтительнее использовать кремнийорганические и углеводородные соединения.

Нанесение олеофобного агента на ткань обычно проводится из водной дисперсии (реже из раствора в органике). Процесс включает несколько стадий:

1. Адсорбция на поверхности волокна. Эмульсия или раствор проникает в межволоконное пространство.

2. Сушка при 100–120 °С – удаление воды, частичная коалесценция частиц полимера.

3. Термофиксация при 150–190 °С – необходимая операция для химического закрепления гидрофобизатора на ткани и образования защитной плёнки.

4. Охлаждение – фиксация структуры. В результате поверхность становится химически инертной и имеет низкую критическую поверхностную энергию.

В настоящей работе проводились исследования свойств препаратов марки *Reppellan* серии *Nuva*: 2114, 2115 (С6-фторсодержащие соединения), *TC-B, F2* (акриловые), *XL-W, XL-N* (полиизоцианаты), *HPU* (полиуретаны), *Acrophob* фирмы *Pulcra chemicals* (кремнийорганические соединения). Указанные продукты позиционируются как экологичная альтернатива фторорганическим агентам.

Нанесение составов проводили по технологии, имитирующей отделочную линию, с отжимом до 70%, сушкой при 100 ^{0} С и термофиксацией на волокне при 130–140 ^{0} С. Исследовали следующие концентрации составов: 10 г/л, 20 г/л, 40 г/л, 80 г/л. Препараты наносили по-отдельности и в смеси с фиксаторами.

Установлены значения краевого угла смачивания, который служит количественной характеристикой процесса смачивания и отражает межмолекулярное взаимодействие между поверхностью твёрдого тела и жидкостью. В настоящей работе использовали метод «сидячей капли». Значение краевого угла смачивания водой при обработке препаратом *Nuva* 2115 в концентрации 40 г/л составило 144^0 , при совместном использовании препаратов *Nuva* 2115 (20 г/л) и *XL-W* (20 г/л) – 135^0 , что подтверждает гидрофобные свойства.

Проведены сравнительные испытания текстильных материалов, обработанных исследуемыми составами, на водоупорность в соответствии с ГОСТ 3816-81, устойчивость к стиркам в соответствии с ГОСТ 9733.4-83 и ГОСТ 11209-2914. Определены олеофобные (маслозащитные) свойства обработанных тканей по методу «*3M*», используя в качестве тест-жидкости смеси н-гептана и вазелинового масла. Шкала оценки по данному методу составляет от 0 (отсутствие олеофобности) до 10 баллов (полная олеофобность ко всем органическим жидкостям).

Состав *Nuva* 2114 показал лучшие олеофобные свойства (8 баллов), среднюю водоупорность (163 мм), которая снижается после стирки до 90 мм. Препарат *Nuva* 2115 показал меньшие олеофобные свойства (5 баллов) при более высокой водоупорности (170 мм), которая после стирки снижается до 123 мм. Применение препарата *TC-B* требует больших концентраций (80 г/л) для достижения похожих результатов.

Сравнение различных гидро-/олеофобизирующих агентов, представленных на рынке, и поиск оптимальной рецептуры важен для текстильных производств, заинтересованных в получении конкурентоспособной продукции с наилучшим соотношением цены и качества. Наилучшие свойства показал состав *Nuva* 2115, обладая высокими маслоотталкивающими свойствами и водоупорностью, сохраняющимся после стирок. Препараты *Nuva* 2114 и *TC-B* также проявили достаточно эффективные свойства.

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 10.11.2026 г. Формат 60×84 1/16.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 6,5 Тираж 500 экз. Заказ 278
Электронный адрес: sci_conf@mail.ru

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