

На правах рукописи

Макарова Анастасия Авинировна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ИМПЛАНТОЛОГИИ, ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИХ
ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность: 05.02.22 - организация производства
(текстильная и легкая промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна"

Научный руководитель: **Климова Наталья Сергеевна**, кандидат экономических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", доцент кафедры интеллектуальных систем и защиты информации

Официальные оппоненты: **Рымкевич Павел Павлович**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования "Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского" Министерства обороны РФ, профессор кафедры физики

Степашкина Анна Сергеевна, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения", доцент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромской государственный университет"

Защита диссертации состоится 17 мая 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.07 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд.437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, <http://sutd.ru/>.

Автореферат разослан ___ апреля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.236.07
доктор технических наук, доцент

Переборова Нина Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Текстильные эластомеры в последнее время получили широкое применение в различных областях экономики страны, в том числе и в медицине. Без текстильных эластомеров уже трудно представить себе такую область медицины, как хирургическую имплантологию, где они выполняют, как правило, армирующую роль для укрепления внутренних органов человека. Прогрессивное развитие медицины и использование в ней новых инновационных текстильных материалов стимулирует решение задачи по повышению их конкурентоспособности. Эту задачу правильнее решать на этапе проектирования новых эластомеров при организации их производства.

Для решения задачи по проектированию новых конкурентоспособных текстильных эластомеров требуется главное внимание уделить качественному исследованию их функциональности. Учитывая, что основное назначение армирующих текстильных эластомеров в хирургической имплантологии - это решение задачи по компенсации деформационных нагрузок, исследование их функциональности необходимо начинать с математического моделирования, системного анализа и численного прогнозирования различного рода деформационных процессов. К наиболее распространенным деформационным процессам текстильных эластомеров следует отнести процессы релаксации, ползучести и восстановления формы.

Текстильные эластомеры хирургического назначения, чаще всего, представляют собой трикотажные сетки. Это объясняется тем, что трикотаж позволяет достаточно просто варьировать свою толщину и пористость, что совсем не маловажно для хирургического имплантата.

Для эффективного выполнения текстильным эластомером своего функционального назначения необходимо знание его различных релаксационных, деформационных и восстановительных характеристик, которые могут быть получены как параметры математической модели функциональных процессов.

Поэтому разработка методов математического моделирования, системного и сравнительного анализа, а также численного прогнозирования деформационных процессов текстильных эластомеров является актуальной задачей.

Улучшение качественных показателей, а также повышение конкурентоспособности отечественных текстильных эластомеров приобретает особую значимость в период действия международных экономических санкций.

При производстве текстильных эластомеров для хирургической имплантологии чаще других применяются текстильные нити: полиакрилонитрильная, полипропиленовая, поливинилиденфторидная и капроновая.

Разработка методов качественного анализа функциональности текстильных эластомеров, а также численного прогнозирования различных деформационных процессов актуально, так как это способствует улучшению их

функциональности и повышению конкурентоспособности.

Степень разработанности темы исследования. Повышение конкурентоспособности текстильных эластомеров для хирургической имплантологии особенно важно в период действия международных санкций, так как позволяет свести к минимуму зависимость национальной экономики от мировой.

Проведение оценки функциональности текстильных эластомеров на этапе организации производства - достаточно сложная задача, так как для ее решения необходимо построение математической модели деформационных процессов этих материалов, их численное прогнозирование и системный анализ.

Инновационная идея оценки функциональности образцов текстильных материалов на основе моделирования свойств их виртуальных образцов на основе информационных цифровых технологий принадлежит доктору технических наук, профессору Переборовой Н.В., возглавляющей научную школу Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна "Разработка критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности".

Цель работы состоит в разработке методов улучшения качества и повышения конкурентоспособности текстильных эластомеров медицинского назначения на этапе их проектирования и организации производства.

Основными **задачами** исследования являются:

- разработка математической модели процесса релаксации текстильных эластомеров, позволяющей проведение качественной оценки их релаксационно-эксплуатационных свойств;

- разработка математической модели процесса ползучести текстильных эластомеров, позволяющей проведение качественной оценки их деформационно-эксплуатационных свойств;

- разработка математической модели восстановительного процесса текстильных эластомеров, позволяющей проведение качественной оценки их восстановительно-эксплуатационных свойств;

- разработка методов численного прогнозирования эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы;

- разработка программного обеспечения по численному прогнозированию эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы;

- проведение качественной оценки эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы;

- разработка рекомендаций по повышению конкурентоспособности текстильных эластомеров на этапе их проектирования и организации производства.

Методология и методы исследования. В работе использованы методы,

применяемые при качественной оценке и системном анализе эксплуатационных свойств текстильной продукции, организации текстильного производства с учетом численных методов, методов оптимизации, математического моделирования и информационных технологий.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 05.02.22 – Организация производства (по отраслям) ВАК Минобрнауки России и соответствует пунктам:

2. Разработка методов и средств эффективного привлечения и использования материально-технических ресурсов в организацию производственных процессов.

3. Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов на всех стадиях.

4. Моделирование и оптимизация производственных процессов. Экспертные системы в организации производственных процессов.

5. Повышение качества и конкурентоспособности продукции, системы контроля качества и сертификации продукции.

10. Разработка методов и средств мониторинга производственных и сопутствующих процессов.

11. Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

Научная новизна работы. В диссертации разработаны:

- математические модели процессов релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров, построенные с учетом специфики их макростроения;

- численные методы для прогнозирования процессов релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров;

- компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ, позволяющие численно прогнозировать процессы релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров;

Теоретическая и практическая значимость диссертации состоит в:

- разработке методов моделирования и повышения конкурентоспособности текстильных эластомеров на этапе проектирования и организации их производства;

- разработке компьютерной программы по математическому моделированию функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения (№ 2021616092 от 16.04.2021);

- разработке компьютерной программы по прогнозированию и оценке функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения (№ 2021616213 от 19.04.2021);

- разработке компьютерной программы по проведению системного анализа функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов медицинского назначения (№ 2021616543 от 22.04.2021).

- разработке рекомендаций по проектированию текстильных эластомеров с целью повышения их конкурентоспособности и улучшения качества;

- использовании результатов, полученных в диссертационном исследовании в учебном процессе кафедры ИСиЗИ СПбГУПТД при чтении лекций для аспирантов и в научно-исследовательской работе.

Положения, выносимые на защиту:

– разработанные математические модели процессов релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров;

– численные методы цифрового прогнозирования процессов релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров;

- метод качественной оценки эксплуатационных свойств текстильных эластомеров;

- компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ для проведения системного анализа и качественной оценки эксплуатационных свойств текстильных эластомеров.

Степень достоверности результатов. Методы проведения качественного анализа процессов релаксации, ползучести и восстановления формы текстильных эластомеров апробированы в ЗАО "ТЕКСТИЛЬ-ИНВЕСТ". По результатам апробации получены рекомендации по проектированию текстильных эластомеров, обладающих заданными эксплуатационными свойствами.

Апробация результатов исследования на научных конференциях: XV Международная конференция "Современные проблемы науки о полимерах" (Санкт-Петербург, 2019); Международная научно-техническая конференция, посвященная инновационному развитию текстильной и легкой промышленности, Light Conf 2021 (Санкт-Петербург, 2021); Всероссийская конференция молодых ученых "Инновации молодежной науки" (Санкт-Петербург, 2019-2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 37 работ, среди которых 9 статей, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science/Scopus, 4 статьи, входящие в "Перечень ВАК", а также 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной литературы (153 наименования) и 2 приложений. Содержание диссертации изложено на 139 страницах машинописного текста, иллюстрировано 30 рисунками и содержит 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена актуальность диссертации, цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе приводится обзор литературы по изучаемым в диссертации вопросам.

В Российской Федерации проблемами проектирования текстильных эластомеров занимались Жуковский В.А., Терушкина О.Б., Слущер Г.Я., Дроботун Н.В. и др.

В главе указываются также особенности макростроения текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии и их основные типы. Приведены известные варианты моделирования их эксплуатационных процессов и методики определения эксплуатационных характеристик.

В начале второй главы приведены технические характеристики основы эластомеров - текстильных нитей, из которых, чаще всего, изготавливаются текстильные эластомеры хирургического назначения (табл. 1).

Таблица 1 - Технические характеристики текстильных нитей - основы для изготовления текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии

№	Вид нити	Усилие при разрыве, Н	Напряжние при разрыве, ГПа	Удлинение при разрыве, %	Начальный модуль упругости, ГПа
1	Полиакрилонитрильная нить	6,4	0,82	14,3	8,3
2	Полиэфирная нить	6,1	0,78	13,1	9,7
3	Полипропиленовая нить	6,7	0,87	20,1	6,5
4	Поливинилиденфторидная нить	5,8	0,73	22,3	3,9
5	Капроновая нить	8,4	0,98	16,7	4,2

Далее приведен детальный план исследования эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, основными пунктами которого являются:

1. Исследование экспериментальных процессов растяжения,
2. Проведение экспериментальных исследований в режиме релаксации напряжений.
3. Построение математической модели релаксации напряжений.
4. Проверка адекватности построенной математической модели релаксации напряжений.
5. Проведение экспериментальных исследований в режиме ползучести.
6. Построение математической модели ползучести.
7. Проверка адекватности построенной математической модели ползучести.
8. Построение математической модели прогнозирования релаксационных процессов.
9. Проверка адекватности построенной математической модели прогнозирования релаксационных процессов.
10. Построение математической модели прогнозирования деформационных процессов.

11. Проверка адекватности построенной математической модели прогнозирования деформационных процессов.

12. Выделение упругой, вязкоупругой и пластической компонент механической работы деформирования текстильных эластомеров.

13. Выделение упругой, вязкоупругой и пластической компонент деформации текстильных эластомеров.

14. Проведение сравнительного анализа деформационных свойств, параметров релаксации и ползучести, компонент деформации и механической работы деформирования с целью определения наилучших вариантов выбора текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, отвечающих заданным функциональным задачам.

Моделирование процессов релаксации (изменение во времени напряжения σ , зависящей от деформации ε) текстильных эластомеров проводится с учетом деформационно-временной аналогии, когда "семейство" кривых релаксации (σ - напряжение, ε - деформация, t - время) в логарифмическо-временной шкале $\ln(t/t_1)$ (t_1 - фиксированное нормирующее временное значение), параллельными сдвигами переносится на "обобщенную" кривую релаксации, задаваемую функцией $\varphi(\ln(t/t_1))$, в качестве которой выбран гиперболический тангенс (ГТ)

$$\varphi_t = \frac{1}{2} \left(1 + th \left(\frac{A_n}{2} \ln \frac{t}{\tau} \right) \right), \quad (1)$$

где A_n - структурный коэффициент, характеризующий интенсивность моделируемого процесса.

При этом, аналитическая форма записи аппроксимации модуля релаксации $E_{\varepsilon t} = E(\varepsilon, t)$ имеет вид:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \varphi_{\varepsilon t}, \quad (2)$$

где E_0 - модуль упругости, E_∞ - модуль вязкоупругости.

То есть для функции ГТ (1) имеем:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \cdot \frac{1}{2} \left(1 + th \left(\frac{A_{n\varepsilon}}{2} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right), \quad (3)$$

где τ_ε - время релаксации, зависящее от величины деформации ε , $E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} (\sigma(\varepsilon, t)/\varepsilon)$ - модуль упругости, характеризующий значение модуля релаксации в начале процесса, $E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} (\sigma(\varepsilon, t)/\varepsilon)$ - конечный модуль вязкоупругости.

Достоинством модели (2), (3) является наименее из возможных число параметров с определенным физическим смыслом:

Зная модуль релаксации, получаем выражение для прогнозирования напряжения:

$$\sigma(\varepsilon, t) = E_0 \cdot \varepsilon - \frac{E_0 - E_\infty}{2} \cdot \varepsilon \cdot \left(1 + th \left(\frac{A_{n\varepsilon}}{2} \cdot \ln \left(\frac{t}{\tau\varepsilon} \right) \right) \right). \quad (4)$$

Аналогично моделируем ползучесть (изменение во времени деформации ε , зависящей от напряжения σ) текстильных эластомеров:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \varphi_{\sigma t}, \quad (5)$$

где D_0 - начальная упругая податливость, D_∞ - предельно-равновесная податливость.

Для функции ГТ (1) имеем:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \cdot \frac{1}{2} \left(1 + th \left(\frac{A_{n\sigma}}{2} \ln \frac{t}{\tau_\sigma} \right) \right), \quad (6)$$

где τ_σ - время запаздывания, зависящее от напряжения σ ; $D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} (\varepsilon(\sigma, t)/\sigma)$ - начальная упругая податливость, $D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} (\varepsilon(\sigma, t)/\sigma)$ - предельно-равновесная податливость.

Достоинством модели (5), (6) является наименее из возможных число параметров с определенным физическим смыслом:

Зная податливость, получаем выражение для прогнозирования деформации:

$$\varepsilon(\sigma, t) = D_0 \cdot \sigma + (D_\infty - D_0) \cdot \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 + th \left(\frac{A_{n\sigma}}{2} \cdot \ln \left(\frac{t}{\tau_\sigma} \right) \right) \right). \quad (7)$$

Разрабатываемая теория вязкоупругости текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, позволяет проводить сравнительную оценку не только исследуемых разновидностей эластомеров, но и проводить оптимальный выбор самих математических моделей релаксации и ползучести.

Данное обстоятельство, несомненно, повышает степень достоверности прогнозирования эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии.

Аналитическую взаимосвязь модуля релаксации и податливости текстильных эластомеров можно получить из уравнения нелинейно-наследственной релаксации при $\sigma = const$

$$E_0 D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma \theta} E'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta = 1. \quad (8)$$

Это соотношение можно рассматривать как интегральный критерий соответствия модуля релаксации и податливости, а, следовательно, и остальных вязкоупругих характеристик.

Степень достоверности определяемых вязкоупругих характеристик будет тем выше, чем менее будет отличаться значение выражения, стоящего в левой части формулы (8) от "1".

Аналогично, аналитическую взаимосвязь податливости и модуля релаксации можно получить из уравнения нелинейно-наследственной

ползучести при $\varepsilon = const$

$$D_o E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon \theta} D'_{\sigma; t-\theta} d\theta = 1. \quad (9)$$

Это соотношение можно рассматривать как интегральный критерий соответствия податливости и модуля релаксации, а, следовательно, и остальных вязкоупругих характеристик.

Степень достоверности определяемых вязкоупругих характеристик будет тем выше, чем менее будет отличаться значение выражения, стоящего в левой части формулы (9) от "1".

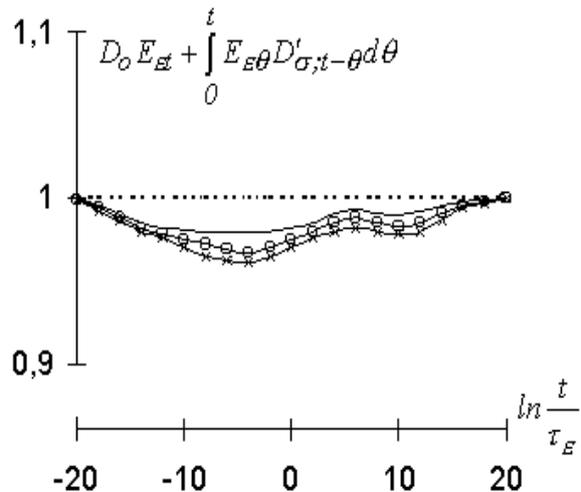
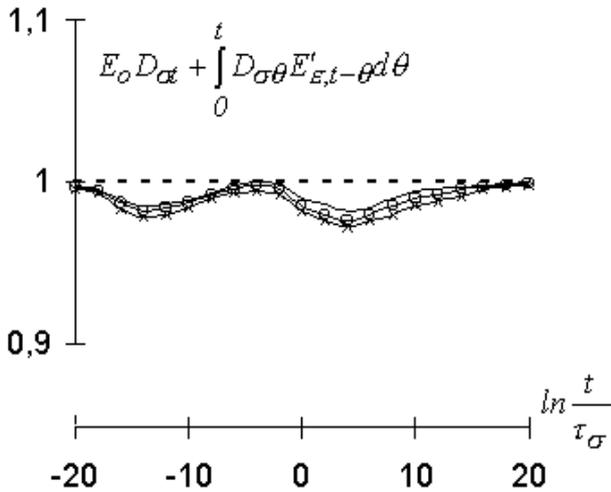


Рисунок 1 - Интегральный критерий соответствия модуля релаксации и податливости (8) для полипропиленового эластомера ($\sigma = 109 \text{ МПа}$ - сплошная, $\sigma = 134 \text{ МПа}$ - кружки, $\sigma = 158 \text{ МПа}$ - крестики).

Рисунок 2 - Интегральный критерий соответствия податливости и модуля релаксации (9) для полипропиленового эластомера ($\varepsilon = 1\%$ - сплошная, $\varepsilon = 2\%$ - кружки, $\varepsilon = 3\%$ - крестики).

В главе 3 на основе разработанных во второй главе математических моделей релаксационного процесса и процесса ползучести текстильных эластомеров, предлагаются методы их численного прогнозирования. Указанное численное прогнозирование основано на применении интегрального уравнения Больцмана-Вольтерра для релаксационного процесса:

$$\sigma_t = E_o \varepsilon_t - (E_o - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \varphi'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta, \quad (10)$$

где $\varphi'_{\varepsilon t}$ - ядро релаксации, соответствующее функции ГТ (1), и для процесса ползучести:

$$\varepsilon_t = D_o \sigma_t + (D_\infty - D_o) \cdot \int_0^t \sigma_\theta \cdot \varphi'_{\sigma; t-\theta} d\theta, \quad (11)$$

где $\varphi'_{\sigma t}$ - ядро ползучести, соответствующее функции ГТ (1).

В четвертой главе рассмотрена цифровизация прогнозирования эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии.

Разработанные методы прогнозирования релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии получили дальнейшее развитие в виде программного продукта, позволяющего компьютеризировать процесс цифровизации эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии.

Приведены алгоритмы расчета релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии.

Указанные алгоритмы легли в основу компьютерных программ по прогнозированию релаксационных, деформационных и восстановительных процессов изучаемых материалов, а также по расчету параметров их математических моделей функционально-эксплуатационных процессов и по проведению, на этой основе, системного анализа функционально-эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии.

На рис. 3 - рис.5 приведены свидетельства на регистрацию программ для ЭВМ по расчету параметров математических моделей, прогнозированию и системному анализу эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов медицинского назначения



Рисунок 3 - Программа ЭВМ "Расчет параметров математических моделей функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения"

Рисунок 4 - Программа ЭВМ "Прогнозирование функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения"

Рисунок 5 - Программа ЭВМ "Системный анализ функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов медицинского назначения"

В пятой главе приведены рекомендации по проектированию текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, на стадии организации производства. При выработке рекомендаций по проектированию текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, было учено, что эти эластомеры создаются на основе высокорастяжимых эластомерных нитей.

С целью проведения системного и сравнительного анализа эксплуатационных характеристик текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии, были проанализированы параметры математических моделей релаксации и ползучести.

Исследование эксплуатационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии позволяет выявить наиболее важные их механические характеристики и разработать рекомендации по улучшению их качества и повышению конкурентоспособности. Всестороннее изучение эксплуатационных свойств текстильных эластомеров возможно лишь на основе математического моделирования вязкоупругости. Особый интерес представляет изучение деформационных свойств указанных материалов в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации. Теоретическую основу таких исследований составляет математическое моделирование термовязкоупругости изучаемой группы материалов. При этом важнейшими задачами исследования являются прогнозирование релаксационных процессов, процессов ползучести и процессов восстановления формы.

Разработка численных методов прогнозирования эксплуатационных процессов текстильных эластомеров позволяет решать задачи по сравнительному и системному анализу свойств указанных материалов, исследовать взаимосвязи механических свойств со структурой, проводить целенаправленное технологическое регулирование свойств при проектировании и организации производства новых текстильных эластомеров, прогнозировать их эксплуатационные свойства.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная математическая модель процесса релаксации текстильных эластомеров позволяет проводить качественные оценки их релаксационно-эксплуатационных свойств.

2. Разработанная математическая модель процесса ползучести текстильных эластомеров позволяет проводить качественные оценки их деформационно-эксплуатационных свойств.

3. Разработанная математическая модель восстановительных процессов текстильных эластомеров позволяет проводить качественные оценки их восстановительно-эксплуатационных свойств.

4. Разработанные методы численного прогнозирования эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы являются аппаратом для цифровизации их качественных функциональных характеристик.

5. Разработанные компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ по численному прогнозированию эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы являются практическим средством для проведения системного и сравнительного анализа указанных свойств этих эластомеров.

6. Проведение качественной оценки эксплуатационных свойств текстильных эластомеров в режимах релаксации, ползучести и восстановления формы, а также их системный анализ позволяет получить рекомендации по улучшению качества и повышению конкурентоспособности изучаемых эластомеров.

7. Полученные рекомендации по улучшению качества и повышению конкурентоспособности текстильных эластомеров целесообразно применять, как на этапе их проектирования, так и на этапе организации производства.

8. Разработанные в диссертации математические модели эксплуатационных свойств текстильных материалов, а также методы цифрового прогнозирования их функциональности являются универсальными и могут быть применены и для других групп текстильных материалов с целью оценки их качественных характеристик и повышения конкурентоспособности готовых изделий.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи в рецензируемых журналах Web of Science и Scopus

1. 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.

англ. вар.: Egorova M.A., Makarova A.A., Kononov A.S., Maksimov V.V. Use of Methods of Spectral Modeling and Computer-Aided Prediction of Viscoelasticity to Determine Functionality of Nonwoven Polymeric Materials //Fibre Chemistry, 2020, v. 52, № 3, pp. 219 - 222.

2. Демидов А.В., Переборова Н.В., Макарова А.А., Чистякова Е.С. Разработка метода учета влияния температуры при прогнозировании сложных деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Химические волокна, 2020, № 4, с. 47-49.

англ. вар.: Demidov A.V., Pereborova N.V., Makarova A.A., Chistyakova E.S.. Development of a Method for Taking into Account the Influence of Temperature in Predicting Complex Deformation Processes of Polymeric Textile Materials//Fibre Chemistry, 2021, v. 52, № 4, pp. 279-282.

3. Чалова Е.И., Переборова Н.В., Макарова А.А., Киселев С.В., Учет влияния переменной температуры при математическом моделировании релаксационно-восстановительных процессов полимерных текстильных материалов//Химические волокна, 2020, № 4, с. 54-56.

англ. вар.: Chalova E.I., Pereborova N.V., Makarova A.A., Kiselev S.V.. Influence of Variable Temperature on Mathematical Modeling of Relaxation-Recovery Processes of Polymer Textiles// Fibre Chemistry, 2021, v. 52, № 4, pp. 287-290.

4. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Макарова А.А. Методы качественной оценки функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов//Химические волокна, 2020, № 4, с. 68-70.

англ. вар.: Egorova M.A., Egorov I.M., Pereborova N.V., Makarova A.A.. Methods for the Qualitative Assessment of Functional and Operational Properties of Polymer Textile Materials// Fibre Chemistry, 2021, v. 52, № 4, pp. 302-305.

5. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Егоров И.М., Макарова А.А. Применение спектрального моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов при исследовании их функциональности//Химические волокна, 2020, № 4, с. 74-77.

англ. вар.: Makarov A.G., Pereborova N.V., Egorov I.M., Makarova A.A.. Spectral Modeling of Deformation-Relaxation Processes in the Functional Study of Polymer Textile Materials// Fibre Chemistry, 2021, v. 52, № 4, pp. 309-312.

6. Макарова А.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Макаров А.Г. Критерии доверительного прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 79-83.

англ. яз.: Makarova A.A., Klimova N.S., Pereborova N.V., Makarov A.G. Criteria for Confidence Prediction of Relaxation Processes of Polymer Textile Materials// Fibre Chemistry, Vol. 53, No. 2, pp. 137-142.

7. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Коробовцева А.А., Макарова А.А., Чистякова Е.С. Математическое моделирование и качественный анализ деформационных и восстановительных процессов полимерных текстильных эластомеров, применяемых в хирургической имплантологии//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2020, № 6 (390), с. 196-201.

8. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Буряк Е.А., Макарова А.А., Александрова М.И. Математическое моделирование и системный анализ процессов релаксации текстильных эластомеров хирургического назначения для качественной оценки их функциональных и эксплуатационных свойств//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2021, № 1 (391), с. 157-163.

9. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Макарова А.А. Разработка методов спектрального моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2021, № 4 (394), с. 186-194.

Прочие публикации

10. Литвинов А.М., Климова Н.С., Макарова А.А. и др. Разработка методов цифрового прогнозирования и системного анализа эксплуатационных свойств полимерных канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 4, с. 36-47 (Перечень ВАК).

11. Демидов А.В., Климова Н.С., Макарова А.А. и др. Разработка методов системного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов на основе спектрального моделирования их деформационных процессов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 4, с. 48-58 (Перечень ВАК).

12. Климова Н.С., Литвинов А.М., Макарова А.А., Демидов А.В., Луканин П.В. Разработка методов повышения конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности при организации ее производства//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 4, с. 13-19 (Перечень ВАК).

13. Макарова А.А., Литвинов А.М., Климова Н.С., Демидов А.В., Луканин П.В. Разработка критериев доверительного прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов на стадии организации их производства//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 4, с. 20-29 (Перечень ВАК).
14. 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.
15. Переборова Н.В., Киселев С.В., Макарова А.А., Чалова Е.И. Математическое моделирование и прогнозирование функционально-эксплуатационных свойств полимерных тканей для куполов парашютов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 3. С. 76-85.
16. 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.
17. Буряк Е.А., Козлов А.А., Макарова А.А., Чистякова Е.С. Прогнозирование процесса восстановления формы текстильных материалов на стадии организации производства//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 3, с. 33-45.
18. Козлов А.А., Егоров И.М., Макарова А.А., Волкова И.Н., Александрова М.И. Исследование взаимозависимости интегральных ядер в линейных процессах релаксации и ползучести полимерных материалов на стадии организации их производства//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 3, с. 46-56.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Переборова Н.В., Киселев С.В., Макарова А.А., Чалова Е.И. Математическое моделирование, прогнозирование и системный анализ функциональных свойств полимерных материалов для парашютостроения// Дизайн. Материалы. Технология, 2020, № 4, с. 113-118.
23. 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.
24. 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.

25. Козлов А.А., Климова Н.С., Литвинов А.М., Макарова А.А. Системный анализ деформационных свойств полимерных текстильных материалов на основе математического моделирования вязкоупругости// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 3, с. 62-57.

26. Переборова Н.В., Климова Н.С., Литвинов А.М., Макарова А.А. Математическое моделирование деформационных свойств полимерных материалов с учетом выбора оптимальной модели // Дизайн. Материалы. Технология, 2021, № 2, с. 101-111.

27. Киселев С.В., Козлов А.А., Литвинов А.М., Макарова А.А. Разработка математических моделей деформационных свойств полимерных текстильных нитей// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 2, с. 52-62.

28. Переборова Н.В., Макарова А.А., Климова Н.С. Ползучесть полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей медицинского применения // Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности» III Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук». (20-21 октября 2021 г.). Том 3. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. с. 171-176

29. Козлов А.А., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Разработка методов определения и оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки, 2020, с. 16-17.

30. Козлов А.А., Макарова А.А., Чалова Е.И., Александрова М.И. Компьютерное прогнозирование релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки, 2020, с. 17-18.

31. Переборова Н.В., Макарова А.А. Прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Инновации молодежной науки, 2021, с. 4-5.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

32. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Макарова А.А., Козлов А.А. Системный анализ вязкоупругих процессов полимерных тканей для парашютов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665369 от 26.11.2020.

33. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Макарова А.А., Козлов А.А. Моделирование вязкоупругих процессов полимерных тканей для парашютов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665370 от 26.11.2020.

34. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Макарова А.А., Козлов А.А. Оценка функциональных свойств полимерных тканей для парашютов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665368 от 26.11.2020.

35. Киселев С.В., Макарова А.А. Расчет параметров математических моделей функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616092 от 16.04.2021.

36. Киселев С.В., Макарова А.А. Прогнозирование функционально-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616213 от 19.04.2021.

37. Киселев С.В., Макарова А.А. Системный анализ функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616543 от 22.04.2021.

Оригинал подготовлен автором

Подписано в печать 10.03.2022. Печать трафаретная
Усл. печ. л. 0,9. Формат 60 x 84 1/16. Тираж 100 экз. Заказ 198.

Отпечатано в типографии СПбГУПТД
121028, г. Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26