

На правах рукописи



Климова Наталья Сергеевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЗАДАННОЙ
ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ**

Специальность: 2.6.16.

Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

Диссертация на соискание ученой степени доктора
технических наук в виде научного доклада

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена на кафедре интеллектуальных систем и защиты информации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Научный консультант: **Переборова Нина Викторовна**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», профессор кафедры интеллектуальных систем и защиты информации, г. Санкт-Петербург

Оппоненты: **Азанова Альбина Альбертовна**, доктор технических наук, профессор кафедры материалов и технологий легкой промышленности, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань;

Грузинцева Наталья Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново;
Медведев Александр Викторович, доктор технических наук, старший научный сотрудник АО НПО «Стеклопластик», Московская область, г. Солнечногорск.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

Защита состоится «09» октября 2024 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.317.01 на базе ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет» по адресу: г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и сайте ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»: [http:// www.ksu.edu.ru](http://www.ksu.edu.ru).

Текст диссертации в виде научного доклада размещен на сайте ВАК России: <http://vak3.ed.gov.ru> .

Диссертация в виде научного доклада разослана « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.317.01 доктор технических наук, доцент



Л.Л. Чагина

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение. Общая характеристика работы	4
2. Основное содержание работы	12
2.1 Механизм решения задач в области качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения	13
2.2 Разработка критериев качественной оценки релаксационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения	14
2.3 Математическое моделирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения	14
2.4 Разработка критериев качественной оценки деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения	16
2.5 Математическое моделирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения	17
2.6 Прогнозирование релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения	18
2.7 Интегральные критерии достоверности и оптимальности математического моделирования и прогнозирования релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения	20
2.8 Цифровые методы прогнозирования и методы системного анализа релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения	24
3. Заключение. Основные выводы	27
Список работ, опубликованных автором по теме диссертации	28

1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Разработка методологии качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов для проектирования изделий заданной функциональности способствует развитию национальной экономики регионов России и страны в целом, так как ее современное дальнейшее совершенствование невозможно без расширяющегося использования полимерных текстильных материалов.

В основе разрабатываемой методологии качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов для проектирования изделий заданной функциональности лежит качественная оценка и системный анализ функциональных, потребительских, деформационных, релаксационных и других свойств этих материалов.

Техническим аппаратом для разрабатываемой методологии служит математическое моделирование, компьютерное прогнозирование, численные методы и методы оптимизации функциональных, деформационных, восстановительных и релаксационных свойств полимерных текстильных материалов.

Актуальность работы состоит также в необходимости проектирования и создания новой конкурентоспособной продукции текстильной и легкой промышленности России, обладающей заданной функциональностью и требуемыми эксплуатационно-потребительскими характеристиками. Актуальность решаемой задачи усиливается и продолжающими свое действие международными санкциями, а также учетом того, что значительная часть продукции текстильной и легкой промышленности является продукцией двойного назначения и предназначена для использования в целях повышения обороноспособности страны.

Полимерные текстильные материалы служат, например, основой для корпусов космических и баллистических ракет, подводных лодок и глубоководных аппаратов. Современное армейское обмундирование и спецодежда различного назначения, к функциональности которых предъявляются определенные требования - это тоже продукция текстильной и легкой промышленности.

Продукция текстильной и легкой промышленности используется в судостроении, автомобилестроении, парашютостроении и других областях техники.

Развитие современной экономики страны невозможно без проектирования и создания новой инновационной продукции текстильной и легкой промышленности, обладающей требуемыми функциональными свойствами, так как это существенно влияет на социальную, экономическую и интеллектуальную безопасность страны, а также укрепляет ее обороноспособность.

Развитие и использование передовых методов цифровой экономики для решения поставленной задачи по улучшению качества продукции текстильной и легкой промышленности и повышению ее конкурентоспособности позволяет значительно упростить и ускорить процесс импортозамещения указанной продукции.

Проведенные в диссертации исследования соответствуют «Стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года».

Степень разработанности темы исследования. Задача проведения качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов является достаточно сложной, так как зачастую предполагает не только исследование имеющихся образцов текстильных материалов, а имеет дело с исследованиями прогнозируемых функциональных свойств указанных материалов на основе математического моделирования их эксплуатационных процессов.

В научной литературе по тематике диссертации достаточное место уделяется проблеме исследования качества материалов, под которым обычно понимается набор некоторых свойств, которые обуславливают пригодность этих материалов для использования, а также соответствие определенным потребностям в зависимости от своего функционального назначения.

В научной литературе понятие качества материала или изделия не понимается только в смысле того, что они являются наилучшими. В частности, под понятиями качественных или высококачественных материалов и изделий понимается наилучшее удовлетворение этих материалов и изделий заданным эксплуатационным потребностям. Следует также заметить, что под свойствами материалов и изделий надо понимать их объективные особенности, которые должны проявляться в процессе эксплуатации. Кроме того, изучаемые свойства материалов и изделий зачастую зависят от заданного функционального назначения, то есть одинаковые материалы и изделия могут обладать различной функциональностью.

Например, некоторый исследуемый материал, мало пригодный для каких-то условий эксплуатации, может быть идеальным для других условий эксплуатации и наоборот. Следует также заметить, что свойства материалов и изделий должны, для удобства их использования, характеризоваться безразмерными величинами. Хотя, конечно же, указанные свойства материалов и изделий могут обладать различной функциональностью. В качестве примеров свойств материалов и изделий различной функциональности можно привести: электрические, тепловые, механические, оптические, химические, геометрические, физические и другие.

Вопрос исследования качественных свойств материалов является непростым в силу неоднозначности самого понятия оценки "качества". Среди исследователей встречаются разные подходы, зачастую коренным образом отличающиеся друг от друга. Например, во Владивостокском государственном университете экономики и сервиса и в Новосибирском технологическом университете при качественном исследовании материалов и изделий текстильной и легкой промышленности применяется системный подход, заключающийся в оценке свойств материалов и изделий в связке "материал – изделие", который основан на основополагающем информационном принципе изучения их жизненного цикла.

Широкое распространение получил метод исследования качественных свойств полимерных материалов на основе прогнозирования их вязкоупругости с использованием определяющих соотношений вязкоупругости с интегральными ядрами Работнова Ю.Н., впервые предложенный учеными Института Машиноведения РАН им. А.А. Благодирова. Аналогичные методы, но с использованием других определяющих соотношений вязкоупругости с интегральными ядрами Колтунова М.А., применяются учеными Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Среди ученых находят также применение методы, основанные на определяющих соотношениях с интегральными ядрами Абея, Ржаницына А.Р.,

Гаврильяка С., Негами С. и др.

Качественными исследованиями вязкоупругих свойств полимерных текстильных материалов занимаются также в Санкт-Петербургском государственном университете промышленных технологий и дизайна (Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др.), где за последние два десятилетия сформировались следующие научные школы, включенные в Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга, ученые которых занимаются исследованиями в данном направлении:

- «Математическое моделирование и системный анализ деформационных свойств полимерных материалов» (руководитель проф. Макаров А.Г.) и

- «Разработка критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности» (руководитель проф. Переборова Н.В.).

Кроме этого, научная школа, возглавляемая проф. Переборовой Н.В. «Разработка и применение методов цифровой экономики по повышению функциональности и конкурентоспособности полимерных текстильных материалов и проектированию материалов оптимальной макроструктуры», в рамках которой проводилось диссертационное исследование, была отмечена грантом Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ № НШ-5349.2022.4.

Объектом диссертационного исследования являются полимерные текстильные материалы и изделия из них различного функционального назначения.

Предметом диссертационного исследования являются методы математического моделирования, цифрового прогнозирования и качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

Используемые в работе методы исследования. Основой теоретического и методологического исследования явились современные представления, положения и разработки, применяемые в системном анализе, математическом моделировании, текстильном материаловедении. Широко используются также различные методы оценки качества материалов, вычислительной математики, оптимизации, вязкоупругости полимеров, информатики и компьютерные технологии.

Цель диссертационного исследования состоит в применении методов математического моделирования и цифрового прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них для разработки методов качественной оценки эксплуатационных свойств этих материалов и изделий, а также повышения степени их конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Развитие методологии математического моделирования и компьютерного прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, которая служат основой для проектирования новых конкурентоспособных материалов и изделий текстильной и легкой промышленности заданной функциональности.

2. Разработка критериев достоверности математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, которые являются подтверждением правомочности применения развиваемой научной теории.

3. Разработка новых математических моделей эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них, которые позволяют моделировать и прогнозировать указанные процессы материалов различного функционального назначения.

4. Разработка новых компьютерных методов прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, которые являются инструментом цифровизации прогнозирования указанных процессов этих материалов и изделий и позволяют осуществлять переход от исследования эксплуатационных свойств реальных полимерных текстильных материалов к исследованию свойств их виртуальных цифровых двойников.

5. Разработка интегральных критериев правдоподобия результатов компьютерного прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, которые являются подтверждением достоверности проводимого математического моделирования и последующего цифрового прогнозирования этих процессов.

6. Проведение компьютерной реализации интегральных критериев правдоподобия прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения в виде алгоритмов и программ для ЭВМ, которые являются техническим средством подтверждения достоверности разрабатываемых методов и моделей.

7. Разработка научных основ и методологии системного анализа и качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, на основе которых могут быть получены практические рекомендации по проектированию полимерных текстильных материалов и изделий, обладающих требуемыми функциональными свойствами.

8. Разработка локальных и обобщенных критериев качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, которые являются практическим инструментом для определения функциональности указанных материалов.

9. Проведение компьютерной реализации локальных и обобщенных критериев качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения в виде алгоритмов и программ для ЭВМ, которые являются цифровой реализацией практического инструмента по определению функциональности исследуемых материалов.

10. Разработка новых методов системного и качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, на основе которых производится корректировка функциональности исследуемых материалов.

11. Проведение компьютерной реализации методов системного и качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения в виде алгоритмов и программ для ЭВМ, которая является цифровой реализацией практического инструмента по проведению корректировки функциональности исследуемых материалов.

12. Разработка практических рекомендаций по проектированию новых полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения,

обладающих заданной функциональностью, которые являются основой для создания конкурентоспособной продукции с заданными свойствами.

Научная новизна работы заключается в развитии методологии качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов с целью разработки математического и цифрового аппарата оценки их качества, увеличения степени конкурентоспособности, снижения временных, трудовых и ресурсных издержек производства, упрощения и ускорения процесса проектирования текстильных изделий заданной функциональности и решения задач по импортозамещению текстильной продукции.

В диссертации были разработаны:

- новые математические модели релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, необходимые для получения оценок качественных характеристик указанных материалов и изделий;

- компьютерные методы определения параметров релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, являющихся основой для дальнейшего цифрового прогнозирования указанных процессов этих материалов и изделий;

- интегральные критерии достоверности математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения;

- критерии качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения;

- цифровые методы прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения, являющиеся основой для проведения системного анализа и качественной оценки функциональных свойств этих материалов и изделий;

- методы системного анализа и качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения;

- компьютерные алгоритмы и программы по реализации методов системного анализа и качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

Результаты диссертации имеют **практическую значимость**, так как они позволяют:

- проводить математическое моделирование и цифровое прогнозирование различных эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения;

- переходить от исследования эксплуатационных процессов реальных полимерных текстильных материалов и изделий из них к исследованию процессов виртуальных цифровых двойников указанных материалов и изделий;

- получать практические рекомендации в части наилучшей линейной плотности и компонентного состава полимерных текстильных материалов и изделий из них, обладающих требуемой функциональностью, что является основой для создания новой конкурентоспособной продукции;

- проводить системный и качественный анализ эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

Кроме этого, благодаря компьютеризации критериев качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них появился механизм практического применения указанных критериев с целью улучшения качества исследуемых материалов и изделий, а также повышения их конкурентоспособности.

Методики проведения качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них применялись в ЗАО «НПП «АНА», АО «САЛЮТ», ООО «ПКФ «Петро-Васт» и на других промышленных предприятиях Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона России, занимающихся проектированием и изготовлением текстильной продукции, где подтвердили свою полную работоспособность. Экономически эффект применения указанных методик выразился в сокращении времени на разработку, внедрение и производство отдельных изделий (от 7 до 11%), что в свою очередь обеспечило высокую эффективность планирования и управления материально-техническими ресурсами предприятия.

По результатам применения разработанных в диссертации методов были сформулированы практические рекомендации по компонентному составу и линейной плотности проектируемых полимерных текстильных материалов, обладающих требуемыми функциональными свойствами, которые были отражены в технической документации предприятий для применения на производстве.

Материалы диссертационного исследования также были частично представлены в коллективной работе молодых ученых СПбГУПТД по теме «Повышение конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности на основе моделирования и цифровизации ее функционально-эксплуатационных свойств», удостоенной Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых 2020 года. В частности, в рамках внедрения этой работы, были получены акты от предприятий ОАО «Гардинно-кружевная компания», ООО «Нордски», ООО «ПК Спортхаус» с экономическим эффектом в размере 704,5 млн. руб.

Теоретическая значимость работы. Разработанные математические модели эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них, а также созданные на их основе методы определения и качественной оценки релаксационных и деформационных свойств указанных материалов, целесообразно применять на стадиях проектирования этих материалов и изделий с целью улучшения их качества и повышения конкурентоспособности.

Разработанные критерии качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них служат практической основой для улучшения качества указанных материалов и изделий, а также повышения их конкурентоспособности.

Разработанные интегральные критерии достоверности математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них позволяют выявлять перспективные математические модели, наилучшим образом способствующие решению задач по качественной оценке свойств указанных материалов и изделий различной функциональности.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Разработанные математические модели релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения – основных эксплуатационных процессов этих материалов и изделий.

2. Разработанные цифровые методы определения параметров релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

3. Разработанные интегральные критерии достоверности математического моделирования релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения.

4. Разработанные локальные и обобщенные критерии качественной оценки эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

5. Разработанные цифровые методы прогнозирования релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

6. Разработанные методы системного анализа и качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

Степень достоверности результатов.

Достоверность моделирования и прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения проверялась экспериментальными и аналитическими методами.

Экспериментальная проверка достоверности результатов моделирования и прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения осуществлялась путем сравнения прогнозируемых значений с результатами контрольного эксперимента. По результатам такого сравнения величина относительного отклонения прогнозируемых значений от данных эксперимента не превышала величину 15% для всех исследуемых в работе материалов и изделий текстильной и легкой промышленности, что является технически допустимым.

Аналитическая проверка достоверности результатов моделирования и прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения осуществлялась на основе применения разработанных в диссертации интегральных критериев достоверности математического моделирования релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения. По результатам такого сравнения величина относительного отклонения прогнозируемых значений от данных эксперимента не превышала величину 10% для всех исследуемых в работе материалов и изделий текстильной и легкой промышленности, а также для всех применяемых в диссертации математических моделей.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности: 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности ВАК Минобрнауки РФ и соответствует следующим его пунктам:

2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности.

4. Проектирование и организация производства материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные показатели изделий текстильной и легкой промышленности и их конкурентоспособность.

7. Цифровое прогнозирование, математические методы, информационные технологии моделирования технологических процессов первичной обработки сырья, организации производства и изготовления волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности.

8. Технологии имитационного моделирования цифровых двойников волокон, нитей, материалов, изделий легкой промышленности и человеческих фигур.

9. Разработка цифровых моделей производства волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности.

13. Разработка оптимальных структур, конструкций, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности для снижения затрат на организацию их производства, повышения качества продукции и оптимизации процесса работы технологического оборудования.

15. Разработка процессов выбора, примерки, оценки качества изделий текстильной и легкой промышленности и оценки свойств материалов в реальной и цифровой среде.

19. Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства изделий текстильной и легкой промышленности.

26. Методы системного анализа свойств формы и материалов в проектируемых изделиях текстильной и легкой промышленности.

29. Стандартизация, сертификация, организация производства и управление качеством материалов и изделий текстильной и легкой промышленности.

Апробация результатов работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались соискателем на международных и всероссийских научных конференциях: «Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Инновации молодежной науки» (2017-2023 гг. – г. Санкт-Петербург, СПбГУПТД), Международный научно-технический симпозиум «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности» (г. Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021 г.), «III Международный Косыгинский Форум «Современные задачи инженерных наук» (г. Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021 г.), II, III и IV Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах» (г. Санкт-Петербург, СПбГУПТД, 2021-2023 гг.).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 137 научных работ (в том числе 12 без соавторов), из которых 70 – в ведущих рецензируемых научных изданиях из «Перечня ВАК» (в том числе 46 – из категории К1 и 24 – из категории К2), 37 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В диссертации разрабатываются научные основы и методология математического моделирования и качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, что продиктовано развитием и возрастающими потребностями различных отраслей экономики, в частности: медицины, авиастроения, судостроения, автомобилестроения, оборонной, текстильной, легкой и пищевой промышленности.

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

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

Новые методы исследования и качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения разрабатывались на основе математических моделей релаксационных процессов и процессов ползучести - основополагающих вязкоупругих процессов этих материалов. Вопросы качественного анализа эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них описаны в публикациях [6, 8, 13, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 29, 35, 37, 45, 53, 65, 68, 71, 77, 78, 94, 96, 97, 99, 101, 102, 103, 107, 110, 116, 117].

Полученные результаты диссертации направлены на создание новых полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, превосходящих зарубежные аналоги по функциональным и эксплуатационным характеристикам.

Результаты диссертации значительно сокращают временные и технико-экономические издержки по проектированию новых полимерных текстильных изделий. Снижение указанных издержек достигается за счет инновационного перехода от количественной оценки эксплуатационных свойств изучаемых материалов к качественной оценке их функциональных характеристик на основе методов цифровой экономики и путем построения изоморфных соответствий между ними. Это позволяет заменить проведение экспериментальных исследований опытной партии продукции компьютерным моделированием и дальнейшим исследованием свойств виртуальных цифровых образцов изучаемых материалов, обладающих требуемой функциональностью.

Такой переход от исследования свойств реальных образцов материалов к исследованию свойств их виртуальных цифровых двойников стал возможным исключительно благодаря установлению изоморфизма между количественными параметрами математических моделей эксплуатационных свойств исследуемых материалов и их качественными функциональными характеристиками (например - в случае спецодежды – количественному параметру, характеризующему пластичность, изоморфно соответствует качественная характеристика комфортности и т.д.).

Проводимые исследования такого класса являются незаменимыми, когда, например, нельзя создать адекватные условия для осуществления экспериментальных исследований (например, при изучении эксплуатационных свойств обшивки космических ракет во время их полета в космосе и т.д.).

В результатах, полученных в диссертации, заинтересованы многие отрасли промышленности, в том числе: медицинская (при разработке защитной одежды врачей и медицинского персонала, например, от коронавирусной инфекции, при разработке хирургических текстильных имплантатов, при разработке гипоаллергенных шовных саморассасывающихся материалов, при разработке материалов для защиты органов дыхания и т.д.), авиастроение (при разработке куполов парашютов, парашютных строп, спецодежды пилотов и т.д.), судостроение (при разработке полимерных канатов, парусов, спецодежды, линей, шнуров и т.д.), автомобилестроение (при разработке материалов для обшивки салонов и сидений автомобилей, спецодежды водителей и персонала, использующего автомобили, в зависимости от его функциональности и т.д.), оборонная (при разработке обмундирования и защитно-маскировочной одежды для личного состава, при разработке текстильной арматуры для ракет, летательных аппаратов и противоракетных управляемых снарядов, при разработке бронежилетов, при разработке огнезащитных костюмов и т.д.), строительство (при разработке геотекстильных материалов, при разработке оплеток вантовых креплений мостов, при разработке изоляционных материалов, при разработке утеплителей, теплоизоляции и т.д.), текстильная (при разработке одежды, в том числе специального назначения, при разработке тканей, шнуров, нетканых материалов и т.п.), легкая (при разработке полимерных текстильных материалов для обуви, швейных материалов, искусственных кож и т.д.) и пищевая промышленность (при разработке спецодежды, при разработке текстильных пищевых форм для выпечки, при разработке фильтрующих материалов, при разработке упаковки и т.д.)

2.1 Механизм решения задач в области качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

Механизм решения задач в области качественных оценок функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения носит комплексный, системный и многоцелевой характер.

Он касается нескольких направлений исследований: от проведения экспериментов до разработки и применения качественных и оптимизационных критериев функциональных и эксплуатационных свойств изучаемых материалов.

Проведение качественных оценок функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения имеет важное стратегическое значение, так как это является основой для создания материалов, обладающей большей конкурентоспособностью.

Вопросы повышения конкурентоспособности полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения описаны в публикациях [2, 4, 7, 10, 32, 33, 36, 38, 43, 54, 58, 66, 74, 79, 81, 90].

2.2 Разработка критериев качественной оценки релаксационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

В диссертации решены вопросы разработки критериев качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения на основе математического моделирования, цифрового прогнозирования и оптимизации указанных свойств.

Разработанные критерии являются основополагающими для улучшения качества полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения в условиях импортозамещения.

Вопросы разработки критериев качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения описаны в публикациях [14, 17, 23, 28, 40, 41, 46, 48, 51, 55, 60, 61, 63, 69, 70, 73, 80, 82, 85, 92, 95, 98, 112, 113, 118, 119, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137].

Одним из таких критериев является разработанный критерий оптимизации релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_{pk} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\alpha_{1k} + \alpha_{2k} + \alpha_{3k} + \alpha_{4k} + \alpha_{5k}) = \frac{A}{p} \rightarrow \min, \quad (1)$$

который носит обобщенный характер (здесь: N - число исследуемых образцов материала) и включает в себя оптимизацию по пяти локальным критериям релаксационных процессов указанных материалов, а именно, по:

- критерию интенсивности восстановления материала после эксплуатации ($\alpha_1 = b_{n\varepsilon}$);
- критерию степени восстанавливаемости материала после эксплуатации ($\alpha_2 = E_\infty / (E_0 + E_\infty)$);
- критерию возможности многократного восстановления материала в процессе эксплуатации ($\alpha_3 = (100\%) / \varepsilon_p$);
- временному критерию восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации ($\alpha_4 = \bar{\tau}_\varepsilon / t_1$);
- критерию устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации ($\alpha_5 = E_\infty / (E_0 - E_\infty)$).

2.3 Математическое моделирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения

Все перечисленные здесь переменные являются параметрами математической модели релаксационного процесса полимерного текстильного материала, которая представляет собой обобщенную релаксационную кривую, аппроксимирующую

экспериментальное семейство модуля релаксации (рис. 1):

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

где

$$\varphi_{\varepsilon t} = 0,5 + \arctg \left(\ln(t/\tau_\varepsilon) / b_{n\varepsilon} \right) / \pi - \quad (3)$$

нормированная релаксационная функция НАЛ (нормированный арктангенс логарифма), являющаяся интегральной функцией вероятностного распределения Коши.

На рисунке 1 приведена схема построения математической модели релаксационного процесса условного полимерного текстильного материала. Что касается конкретных примеров полимерных материалов и температур, то они приведены в работах: [3, 5, 11, 20, 21, 24, 26, 27, 30, 34, 39, 50, 56, 62, 64, 67, 75, 76, 83, 84, 86, 88, 91, 108, 114, 120, 121, 122, 123].

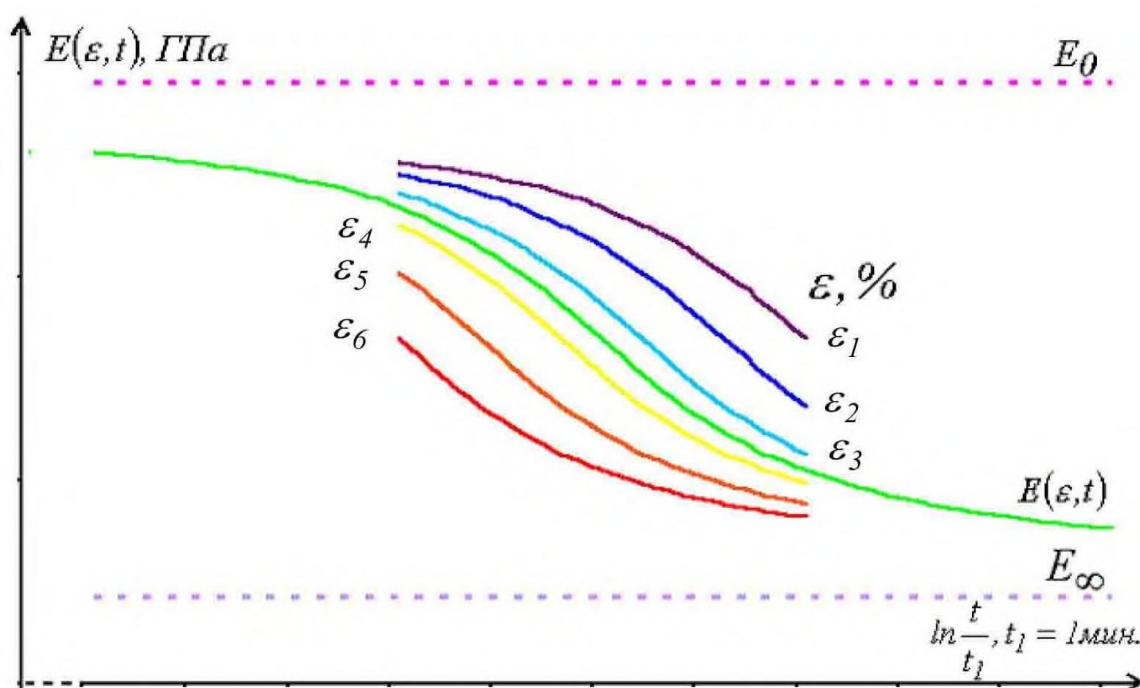


Рисунок 1 – Схема построения математической модели релаксационного процесса условного полимерного текстильного материала на основе аппроксимации экспериментального «семейства» модуля релаксации обобщенной релаксационной кривой $E(\varepsilon, t)$

Модуль релаксации:

$$E_{\varepsilon t} = \sigma_t / \varepsilon, \quad (4)$$

имеет два асимптотических значения:

$$\begin{cases} E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\varepsilon t}, \\ E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\varepsilon t} \end{cases} \quad (5)$$

Другими параметрами математической модели релаксационного процесса полимерного текстильного материала также являются:

τ_{ε} - функция времен релаксации,

$b_{n\varepsilon}$ - характеристика интенсивности релаксации.

Здесь имеют место следующие обозначения:

ε - деформация,

σ_t - напряжение,

t - время,

t_1 - нормирующее время,

$\bar{\tau}_{\varepsilon}$ - среднее релаксационное время, определяемое по формуле:

$$\bar{\tau}_{\varepsilon} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^{-1} \cdot \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \tau_{\varepsilon} \cdot d\varepsilon, \text{ где:} \quad (6)$$

ε_1 - наименьшее значение из интервала исследуемых деформаций,

ε_2 - наибольшее значение из интервала исследуемых деформаций;

2.4 Разработка критериев качественной оценки деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

Другим из таких критериев является разработанный критерий оптимизации деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B_{dk} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\beta_{1k} + \beta_{2k} + \beta_{3k} + \beta_{4k} + \beta_{5k}) = \bar{B}_d \rightarrow \min, \quad (7)$$

который также носит обобщенный характер и включает в себя оптимизацию по пяти локальным критериям деформационных процессов указанных материалов, а именно, по:

- критерию интенсивности деформирования материала в процессе эксплуатации ($\beta_1 = b_{n\sigma}$);

- критерию степени деформируемости материала в процессе эксплуатации ($\beta_2 = D_o / (D_o + D_{\infty})$);

- критерию возможности многократного деформирования материала в процессе эксплуатации ($\beta_3 = \sigma_o / \sigma_p$);

- временному критерию деформационных воздействий на материал в процессе эксплуатации ($\beta_4 = \bar{\tau}_{\sigma} / t_1$);

- критерию устойчивости материала к многократному деформированию в процессе эксплуатации ($\beta_5 = D_o / (D_\infty - D_o)$).

2.5 Математическое моделирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения

Перечисленные здесь переменные являются параметрами математической модели деформационного процесса (ползучести) полимерного текстильного материала, которая представляет собой обобщенную деформационную кривую, аппроксимирующую экспериментальное семейство податливости (рис. 2):

$$D_{\sigma t} = D_o + (D_\infty - D_o) \varphi_{\sigma t}, \quad (8)$$

где

$$\varphi_{\sigma t} = 0,5 + \arctg \left(\ln(t / \tau_\sigma) / b_{n\sigma} \right) / \pi - \quad (9)$$

нормированная деформационная функция НАЛ;

На рисунке 2 приведена схема построения математической модели условного полимерного текстильного материала.

Что касается конкретных примеров полимерных материалов и температур, то они приведены в работах: [3, 5, 11, 20, 21, 24, 26, 27, 30, 34, 39, 50, 56, 62, 64, 67, 75, 76, 83, 84, 86, 88, 91, 108, 114, 120, 121, 122, 123].

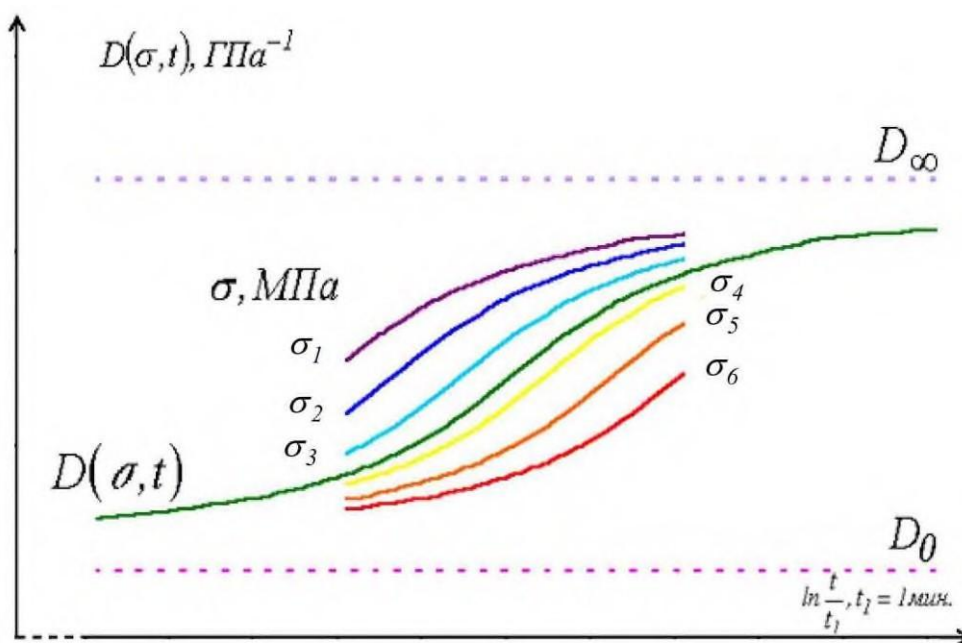


Рисунок 2 - Схема построения математической модели деформационного процесса (ползучести) условного полимерного текстильного материала на основе аппроксимации экспериментального «семейства» податливости обобщенной деформационной кривой $D(\sigma, t)$

Податливость:

$$D_{\sigma t} = \varepsilon_t / \sigma, \quad (10)$$

имеет два асимптотических значения:

$$\begin{cases} D_0 = \lim_{t \rightarrow 0} D_{\sigma t}, \\ D_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} D_{\sigma t} \end{cases}, \quad (11)$$

Другими параметрами математической модели деформационного процесса полимерного текстильного материала также являются:

τ_σ - функция времен запаздывания (ползучести),

$b_{n\sigma}$ - характеристика интенсивности деформирования,

$\bar{\tau}_\sigma$ - среднее деформационное время, определяемое по формуле:

$$\bar{\tau}_\sigma = \sigma_0 / (\sigma_2 - \sigma_1) \cdot \int_{\sigma_1/\sigma_0}^{\sigma_2/\sigma_0} \tau_\sigma \cdot d \frac{\sigma}{\sigma_0}, \quad (12)$$

где:

σ_1 - наименьшее значение из интервала исследуемых напряжений,

σ_2 - наибольшее значение из интервала исследуемых напряжений.

2.6 Прогнозирование релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

Для прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения предлагается использовать определяющее интегральное уравнение Больцмана-Вольтерра с различными интегральными ядрами:

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \Phi'_{\varepsilon; t-\theta} d\theta, \quad (13)$$

где:

$\Phi'_{\varepsilon t}$ - ядро релаксации.

Аналогично, для прогнозирования деформационных процессов указанных материалов, предлагается использовать уравнение

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \cdot \int_0^t \sigma_\theta \cdot \Phi'_{\sigma; t-\theta} d\theta, \quad (14)$$

где:

$\Phi'_{\sigma t}$ - ядро запаздывания (ползучести).

В качестве подынтегральных ядер $\Phi'_{\varepsilon;t}$, $\Phi'_{\sigma;t}$ можно выбрать, например, производные одной из следующих нормированных функций:

$$\Phi_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{a^{-1} \cdot \ln(t/\tau)} e^{-z^2/2} dz - \quad (15)$$

ИВ (интеграл вероятностей), характеризующий нормальное распределение;

$$\Phi_t = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{th} \left(\frac{A}{2} \ln \frac{t}{\tau} \right) \right) = \left(1 + \left| \left(\frac{t}{\tau} \right)^{-A} \right| \right)^{-1} - \quad (16)$$

ГТ (гиперболический тангенс), описывающий вероятностное распределение, достаточно близкое к нормальному распределению;

$$\Phi_t = 1 - e^{-(t/\tau)^k} - \quad (17)$$

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

$$\Phi_t = 0,5 + \operatorname{arctg} \left(\ln(t/\tau) / b_n \right) / \pi - \quad (18)$$

НАЛ (нормированный арктангенс логарифма), характеризующей распределение Коши, обладающее свойством аддитивности.

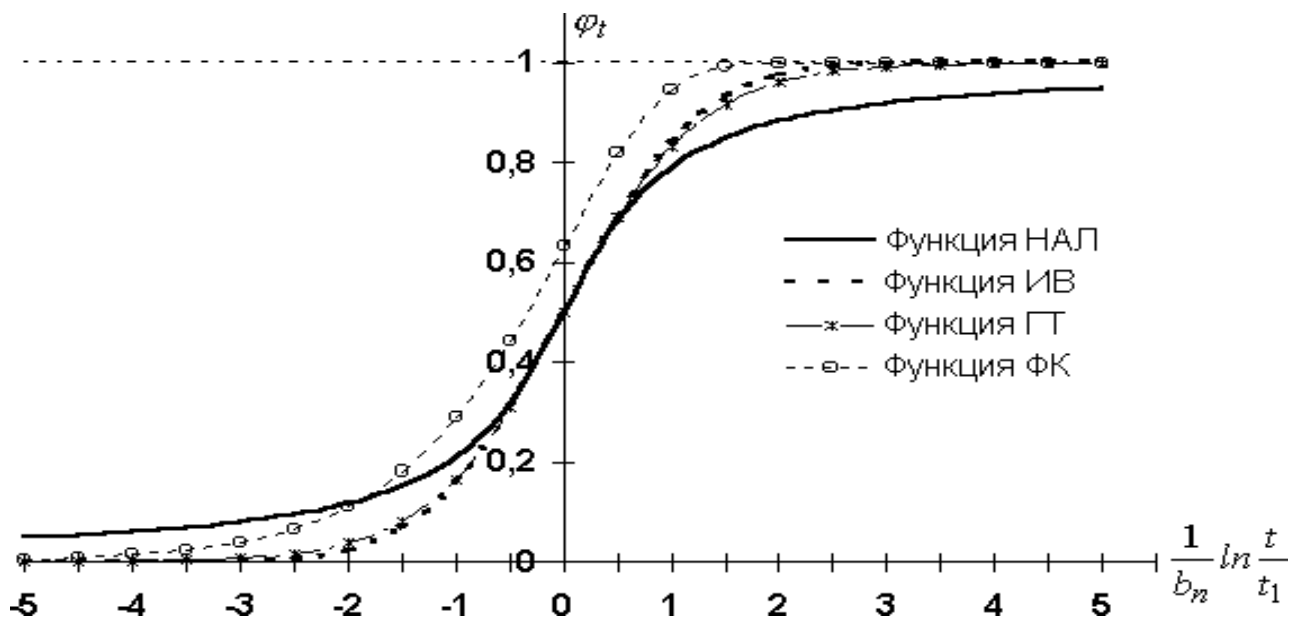


Рисунок 3 - Графики нормированных функций, применяемых для аппроксимации релаксационных и деформационных семейств изучаемых полимерных материалов и изделий.

Здесь имеют место следующие обозначения нормированных функций:

ИВ – интеграл вероятностей (15);

ГТ – гиперболический тангенс (16);

ФК – функция Кольрауша (17);

НАЛ – нормированный арктангенс логарифма (18).

Здесь:

a_n , A , k , b_n – параметры интенсивности релаксационных и деформационных процессов соответственно, характеризующие скорости указанных процессов,
 t/τ – приведенное время.

Наличие нескольких математических моделей релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, в которых применяются разные подынтегральные функции, оправдано и позволяет получать результаты прогноза, независимые друг от друга.

Выбор в качестве основы математических моделей релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов функции НАЛ не случаен, так как вероятностное распределение Коши, интегральной функцией распределения которого она является, обладает свойством аддитивности, характеризующегося тем, что сумма характеристик, распределенных по вероятностному закону Коши, также имеет своим распределением вероятностное распределение Коши.

Вопросы математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения описаны в публикациях [3, 5, 11, 20, 21, 24, 26, 27, 30, 34, 39, 50, 56, 62, 64, 67, 75, 76, 83, 84, 86, 88, 91, 108, 114, 120, 121, 122, 123].

Для оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения выполнение этого правила чрезвычайно важно, так как любой сложный текстильный материал представляет собой совокупность более простых текстильных материалов (нити состоят из волокон, ткани из нитей и т.д.). Поэтому, если характеристики качественных свойств более «простого» материала будут подчиняться вероятностному распределению Коши, этому же распределению будут подчинены и характеристики более «сложного» материала.

Разработанные критерии качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, также, как и разработанные на их основе обобщенные критерии оптимизации этих свойств (1) и (7), позволяют, не только оценивать качественные характеристики изучаемых материалов, но и осуществлять их оптимизацию, добиваясь улучшения функциональности.

2.7 Интегральные критерии достоверности и оптимальности математического моделирования и прогнозирования релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

В диссертации также разработаны интегральные критерии достоверности и оптимальности математического моделирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, в основе которых лежат интегральные определяющие уравнения типа Больцмана-Вольтерра релаксационных и деформационных процессов указанных материалов.

Прогнозирование и исследование эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения существенно зависит от разных факторов, среди которых: точность экспериментальных данных, адекватность физической и математической модели, оптимальный выбор метода математического моделирования. Повышение точности эксперимента можно осуществить посредством использования более точной аппаратуры для измерений, а также увеличением числа экспериментальных испытаний для повышения репрезентативности данных эксперимента.

Альтернативным путем повышения точности прогнозирования эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения является метод оптимизации параметров математической модели. При моделировании и прогнозировании эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения с использованием определяющих уравнений (13) и (14) возникает вопрос о достоверности и надежности такого моделирования и прогнозирования.

Вопросы достоверности цифрового прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения описаны в публикациях [1, 9, 12, 31, 42, 44, 47, 49, 52, 57, 59, 72, 87, 89, 93, 100, 104, 105, 106, 109, 115, 124, 125, 126, 127, 128, 129].

Оценку степени достоверности моделировании и прогнозировании эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения можно получить применяя разработанные интегральные критерии оптимизации релаксационных процессов:

$$\max_{t \in [0, T]} \left| \chi \left(\ln t / \tau_{\sigma} \right) - 1 \right| \rightarrow \min, \quad (19)$$

и оптимизации деформационных процессов:

$$\max_{t \in [0, T]} \left| \chi \left(\ln t / \tau_{\varepsilon} \right) - 1 \right| \rightarrow \min, \quad (20)$$

где: T - полное время прогнозируемого процесса,

$\chi \left(\ln t / \tau_{\sigma} \right)$ и $\chi \left(\ln t / \tau_{\varepsilon} \right)$ - интегральные функции:

$$\chi \left(\ln t / \tau_{\sigma} \right) = E_o D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma \theta} E'_{\varepsilon'; t-\theta} d\theta, \quad (21)$$

$$\chi \left(\ln t / \tau_{\varepsilon} \right) = D_o E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon \theta} D'_{\sigma'; t-\theta} d\theta. \quad (22)$$

Разработанные критерии оптимизации релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения (19), (20) получены из уравнения (13) при постоянном значении напряжения $\sigma = const$:

$$E_o D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma \theta} E'_{\varepsilon'; t-\theta} d\theta = 1, \quad (23)$$

где:

$$E'_{\varepsilon t} = \partial E_{\varepsilon t} / \partial (\ln(t/t_1)),$$

и из уравнения (14) при постоянном значении деформации $\varepsilon = const$:

$$D_0 E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon \theta} D'_{\sigma, t-\theta} d\theta = 1, \quad (24)$$

где:

$$D'_{\sigma t} = \partial E_{\sigma t} / \partial (\ln(t/t_1)).$$

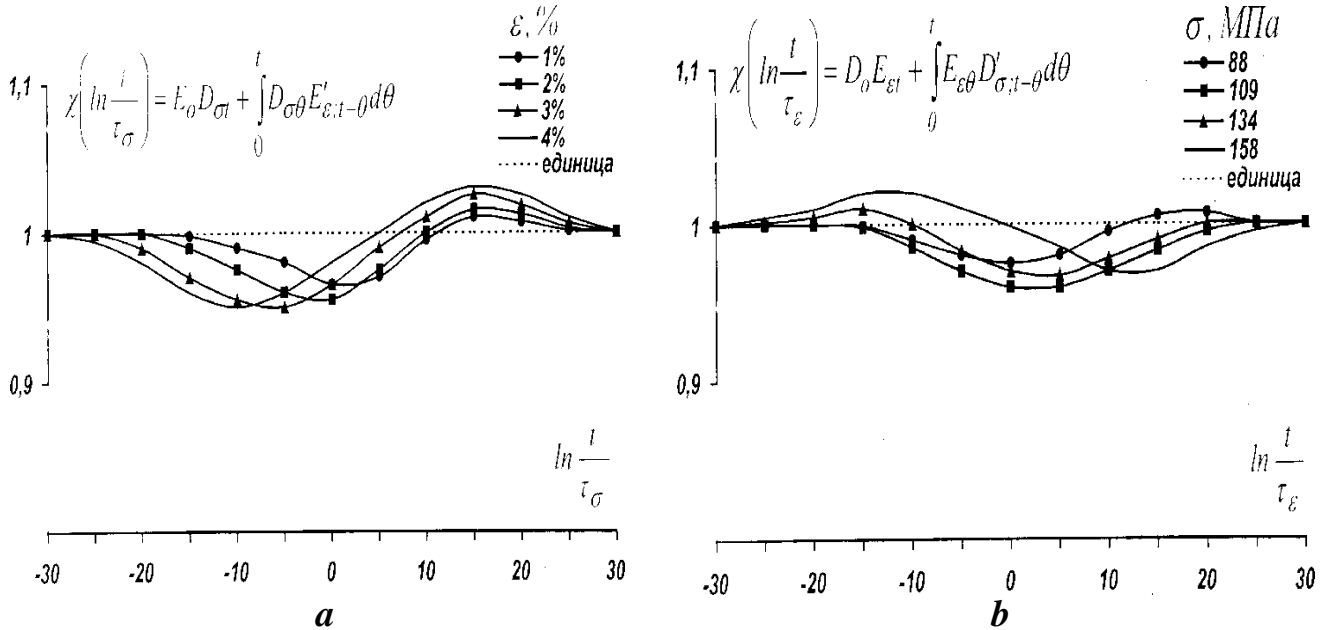


Рисунок 4 - Применение критериев (19) - (а), (20) - (б) с функцией НАЛ к текстильной лавсановой нити 114 текс при температуре $T = 20^{\circ}C$

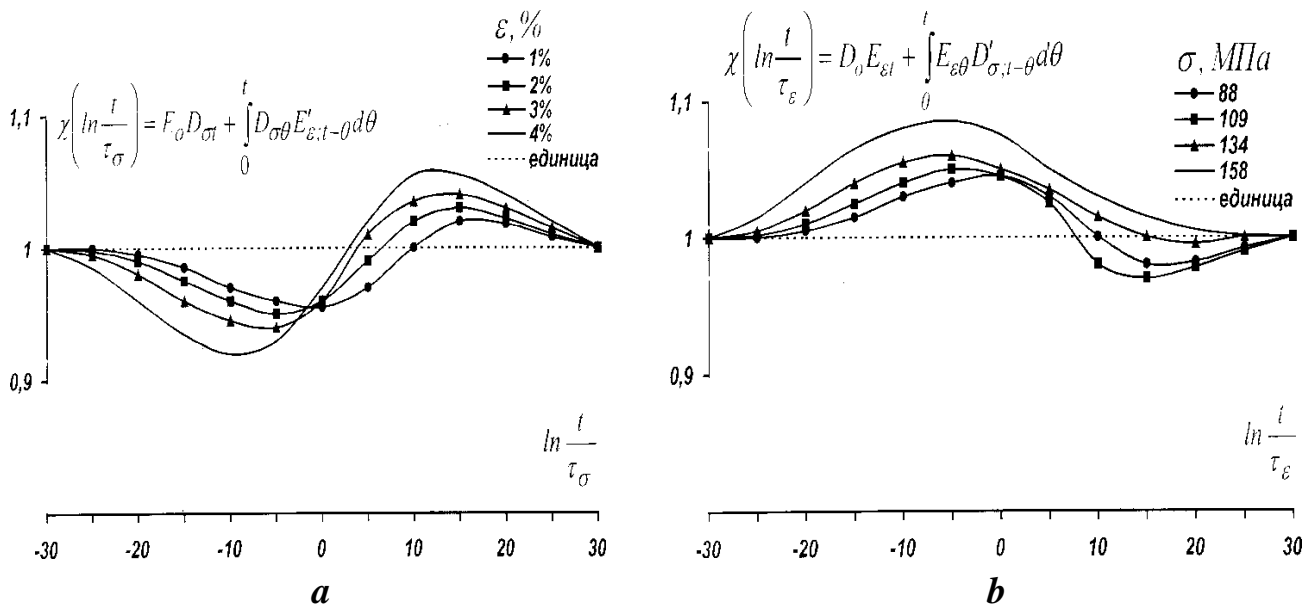


Рисунок 5 - Применение критериев (19) - (а), (20) - (б) с функцией ИВ к текстильной лавсановой нити 114 текс при температуре $T = 20^{\circ}C$

Идея разработки критериев оптимизации математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения основана на том факте, что, чем более

удачным будет выбор интегральных ядер $\Phi'_{\varepsilon;t}$ и $\Phi'_{\sigma;t}$ (а, следовательно, и более точное описание $D_{\sigma t}$ и $E_{\sigma t}$), тем отклонения левых частей равенств (23) и (24) от «единичных» значений будет наименьшим.

На рис. 4 и рис. 5 приведены графики интегральных функций $\chi(\ln t/\tau_{\sigma})$ и $\chi(\ln t/\tau_{\varepsilon})$, соответствующие подынтегральным функциям $\Phi'_{\varepsilon;t}$ и $\Phi'_{\sigma;t}$, (15) и (18) для различных значений деформации ε и напряжения σ при прогнозировании релаксационных и деформационных процессов текстильной лавсановой нити линейной плотности 114 текс при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Приведенные на рис. 4 и рис. 5 результаты визуально показывают некоторое преимущество функции НАЛ перед функцией ИВ при моделировании и прогнозировании эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов, что в дальнейшем подтверждено и экспериментально.

При применении для моделирования и дальнейшего прогнозирования функции НАЛ относительная погрешность прогнозируемых значений не превышает величину в 6% (рис. 4). А при применении для моделирования и дальнейшего прогнозирования функции ИВ относительная погрешность прогнозируемых значений не превышает величину в 10% (рис. 5).

Известные математические модели эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов не включают в себя проверку на достоверность. В основном, достоверность моделирования проверяется на основе степени совпадения результатов моделирования с экспериментом.

Величина отклонения определяется по сравнению данных эксперимента с данными прогноза, полученными при применении математических моделей.

Заметим, что отклонение от эксперимента на величину не более 10% является очень хорошим результатом, так как технически допустимым значением относительной погрешности при прогнозировании эксплуатационных процессов является величина в 20%.

Разработанные критерии оптимизации математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения (19), (20) позволяют ответить на вопрос о выборе наиболее достоверной математической модели указанных процессов, что немаловажно для последующего цифрового их прогнозирования и качественной оценки эксплуатационных свойств изучаемых материалов.

Применение разработанных интегральных критериев оптимальности математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения показало целесообразность использования при оценке эксплуатационных свойств этих материалов вероятностного распределения Коши, обладающего свойством аддитивности характеристик.

А это является особенно актуальным при исследовании эксплуатационных процессов материалов, представляющих из себя сложные аддитивные системы, каковыми являются материалы текстильной и легкой промышленности.

Приведенные критерии оптимизации релаксационных и деформационных

процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения (19), (20) позволяют проводить также оценку эксплуатационных свойств этих материалов на стадии их проектирования.

Следует также заметить, что практическая реализация разработанных критериев оптимизации релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения (19), (20) предполагает большой объем вычислений, а это возможно только на основе использования современных цифровых компьютерных технологий.

Вопросы, касающиеся разработанных критериев оптимизации релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения приведены в публикациях [14, 17, 23, 28, 40, 41, 46, 48, 51, 55, 60, 61, 63, 69, 70, 73, 80, 82, 85, 92, 95, 98, 112, 113, 118, 119, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137].

2.8 Цифровые методы прогнозирования и методы системного анализа релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения

В диссертации приведена также цифровая реализация критериев качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения.

Проведение качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения опирается на использование современных информационных технологий с привлечением компьютерной техники.

Для практической реализации предложенных методов определения релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, а также критериев их качественной оценки были разработаны соответствующие компьютерные алгоритмы и программное обеспечение.

На рис. 6 приведен пример компьютерного алгоритма, позволяющего определять релаксационные и деформационные характеристики полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения для оценки их качественных свойств.

Практическое применение интегрального критерия оптимальности математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения также невозможно без использования компьютерной техники ввиду большого числа вычислений.

Поэтому компьютерная реализация критериев качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения играет важную роль для решения поставленных в диссертации задач – создания полимерных текстильных материалов, обладающих определенным набором качественных функциональных и эксплуатационных свойств.

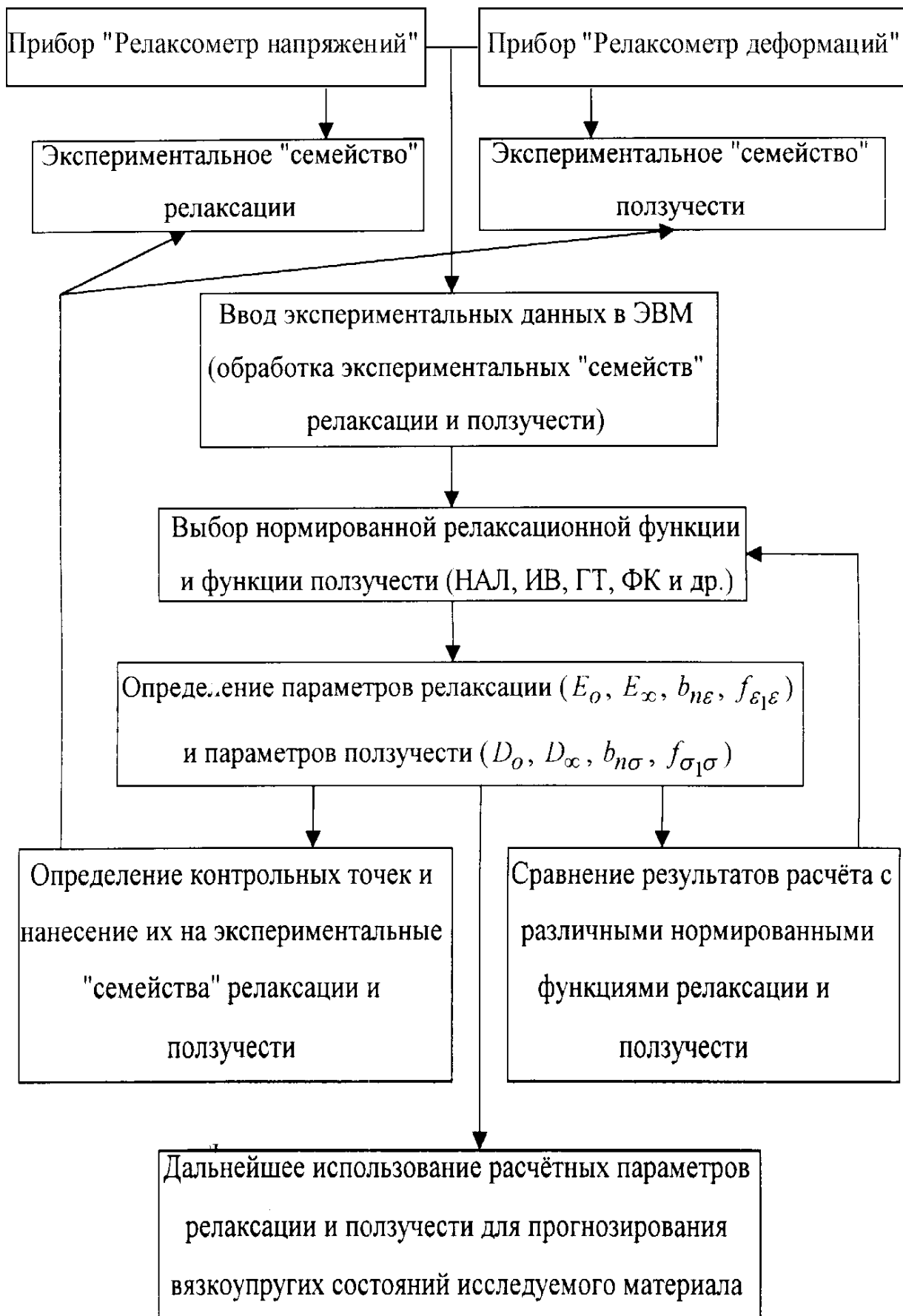


Рисунок 6 - Алгоритм программы для ЭВМ по определению релаксационных и деформационных характеристик полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения

Компьютерная реализация разработанных методов позволяет проводить, как всестороннее исследование эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, так и осуществлять мероприятия по целенаправленному технологическому отбору образцов материалов, обладающих наилучшими функциональными свойствами.

Вопросы компьютерной реализации разработанных вычислительных программ отражены в свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ [101 - 137].

Для группы текстильных материалов (текстильных нитей разного компонентного состава и различной линейной плотности; текстильных лент разной линейной плотности по основе и по утку; технических тканей разной линейной плотности по основе и по утку) рассмотрено практическое применение методов определения релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, а также практическое применение критериев качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения.

На основе методов определения релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения было проведено определение численных релаксационных и деформационных характеристик указанных материалов.

Найденные релаксационные и деформационные характеристики использовались в критериях качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения для проведения указанной качественной оценки эксплуатационных свойств этих материалов.

По результатам применения критериев качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения были получены рекомендации по направлениям использования исследуемых материалов того или иного функционального назначения.

Вопросы в части рекомендаций по проектированию и производству полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения отражены в публикациях [2, 4, 7, 10, 32, 33, 36, 38, 43, 54, 58, 66, 74, 79, 81, 90].

Применение критериев качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения открывает пути к созданию более качественной текстильной продукции, обладающей большей конкурентоспособностью.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработанные математические модели релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения являются основой для разработки качественных критериев оценки эксплуатационных свойств указанных материалов и изделий.

2. Разработанные на основе математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них методы определения параметров-характеристик этих моделей позволяют проводить оценку эксплуатационных свойств изучаемых материалов и изделий.

3. Разработанные критерии качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения позволяют проводить отбор указанных материалов и изделий по критериям наилучшего соответствия их релаксационных и деформационных свойств заданному функциональному назначению.

4. Разработанные локальные и обобщенные критерии оценки релаксационных и деформационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения позволяют проводить оценку функциональности изучаемых материалов и изделий.

5. Разработанные на основе математического моделирования методы цифрового прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения позволяют с достаточной степенью точности прогнозировать релаксационные и деформационные свойства указанных материалов и изделий.

6. Разработанные интегральные критерии правдоподобия математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения являются теоретическим подтверждением достоверности математического моделирования и цифрового прогнозирования указанных процессов этих материалов, что также подтверждается контрольным экспериментом.

7. Компьютерная реализация методов определения параметров-характеристик математических моделей релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения позволяет автоматизировать расчет указанных характеристик.

8. Компьютерная реализация локальных и обобщенных критериев качественной оценки релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения является практическим инструментом для автоматизированного нахождения релаксационных и деформационных свойств этих материалов.

9. Компьютерная реализация интегральных критериев достоверности математического моделирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения является практическим инструментом для выбора наилучшей математической модели указанных процессов этих материалов.

10. Практическое применение локальных и обобщенных критериев качественной оценки релаксационных и деформационных свойств полимерных текстильных материалов и изделий из них различного назначения, служит основой

для проектирования новых полимерных текстильных материалов и изделий из них с заданным набором функциональных свойств, обладающих повышенной конкурентоспособностью.

11. Все разработанные в диссертации методы прошли успешную апробацию на отраслевых предприятиях и в профильных научно-исследовательских организациях Санкт-Петербурга и Северо-Западного региона, занимающихся проектированием и производством полимерных текстильных материалов и изделий из них различного функционального назначения.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах в изданиях из Перечня ВАК по специальности 2.6.16:

Статьи из категории К1

1. 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, № 3, с. 26-33.

2. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Кобякова Ю.В. Вариант решения задачи повышения конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе системного анализа их свойств//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. Т. 41. № 3. С. 90-99.

3. Переборова Н.В., Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Васильева Е.К. Методы математического моделирования и качественного анализа релаксационно-деформационных процессов арамидных текстильных материалов//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018, № 2 (374), с.251-255. (Scopus)

4. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Климова Н.С. Методы повышения конкурентоспособности отечественных арамидных текстильных материалов на основе комплексного анализа их функциональных свойств//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018, № 6 (378), с. 267-272. (Scopus)

5. Pereborova N.V., Demidov A.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Modeling of Deformation-Relaxation Processes of Aramid Textile Materials – the Foundation for Analyzing Their Operational Properties// Fibre Chemistry, 2018, Vol. 50, No. 2, pp. 104-107. (Scopus)

Русский вариант: 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. Makarov A.G., Pereborova N.V., Vagner V.I., Egorova M.A., Klimova N.S. Spectral Analysis of Viscoelastic Creep of Geotextiles//Fibre Chemistry, 2018, vol. 50, № 4, pp. 378-382. (Scopus)

Русский вариант: Макаров А.Г., Переборова Н.В., Вагнер В.И., Егорова М.А., Климова Н.С. Спектральный анализ вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов//Химические волокна, .2018, № 4, с. 117-120.

7. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Klimova N.S. Improving the Competitiveness of Aramid Textile Materials Based on Mathematical Modeling and Analysis of Their Performance Properties//Fibre Chemistry,2019, № 50(6), pp. 569-572. (Scopus)

Русский вариант: Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Климова Н.С. Повышение конкурентоспособности арамидных текстильных материалов на основе математического моделирования и анализа их эксплуатационных свойств//Химические волокна, 2018, № 6, с. 87-90.

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. (Scopus)

9. 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. (Scopus)

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. (Scopus)

11. 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.

12. Demidov A.V., Makarov A.G., Pereborova N.V., Klimova N.S. Predicting Functioning Processes of Uniaxially Oriented Polymeric Materials//Fibre Chemistry, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 55-60. (Scopus)

Русский вариант: Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Климова Н.С. Прогнозирование эксплуатационных процессов одноосно ориентированных полимерных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 3-7.

13. Klimova N.S., Pereborova N.V., Makarov A.G. Activation Energy of Deformation Processes in Polymer Textile Materials//Fibre Chemistry, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 76-81. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С., Переборова Н.В., Макаров А.Г. Энергия активации деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 23-27.

14. Buryak E.A., Klimova N.S., Pereborova N.V. Separation of Deformation Components in Polymer Textile Materials// *Fibre Chemistry*, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 88-93. (Scopus)

Русский вариант: Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Определение компонентов деформации полимерных текстильных материалов// *Химические волокна*, 2021, № 2, с. 34-37.

15. Vagner V.I., Kozlov A.A., Makarov A.G., Klimova N.S. Systematic Analysis of the Deformational Properties of Polypropylene and Polyvinylidene Fluoride Surgical Materials// *Fibre Chemistry*, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 120-126. (Scopus)

Русский вариант: Вагнер В.И., Козлов А.А., Макаров А.Г., Климова Н.С. Системный анализ деформационных свойств полипропиленовых и поливинилиденфторидных материалов хирургического назначения// *Химические волокна*, 2021, № 2, с. 64-69.

16. Egorov I.M., Kiselev S.V., Makarov A.G., Klimova N.S. Physical Analysis of the Creep of Polypropylene and Polyvinylidene Fluoride Threads for Medical Purposes// *Fibre Chemistry*, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 127-131. (Scopus)

Русский вариант: Егоров И.М., Киселев С.В., Макаров А.Г., Климова Н.С. Физический анализ ползучести полипропиленовых и поливинилиденфторидных нитей медицинского назначения// *Химические волокна*, 2021, № 2, с. 70-73.

17. 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*, 2021, Vol. 53, No. 2, pp. 137-142. (Scopus)

Русский вариант: 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.

18. Kiselev S.V., Pereborova N.V., Titova L.V., Klimova N.S. Influence of Degree of Twist of Polyester Sewing Threads on Their Deformation Properties// *Fibre Chemistry*, 2021, Vol. 53, No. 3, pp. 171-175. (Scopus)

Русский вариант: Киселев С.В., Переборова Н.В., Титова Л.В., Климова Н.С. Влияние степени крутки швейных полиэфирных нитей на их деформационные свойства// *Химические волокна*, 2021, № 3, с. 23-27.

19. Klimova N. S., Pereborova N. V., Makarov A.G., Ovsyannikov D.A. Deformation Properties of Polymer Textile Materials System Analysis and Prediction// *Fibre Chemistry*, 2021, Vol. 53, No. 3, pp. 182-184. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С., Переборова Н.В., Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Системный анализ деформационных свойств полимерных текстильных материалов и их прогнозирование// *Химические волокна*, 2021, № 3, с. 34-36.

20. Buryak E.A., Klimova N.S., Pereborova N.V., Titova L.V. Mathematical Modeling of Viscoelastic Properties of Reinforced Polyester Sewing Threads// *Fibre Chemistry*, 2022, Vol. 54, No. 4, p. 223-228. (Scopus)

Русский вариант: 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.

21. 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, 2021, № 1, с. 7-13.

22. Литвинов А.М., Козлов А.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Разработка методов компьютерного анализа деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 82-87.

23. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Спектральная интерпретация деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 100-105.

24. Киселев С.В., Козлов А.А., Литвинов А.М., Климова Н.С. Вариант математического моделирования деформационных свойств текстильных полимерных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 3, с. 96-102.

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., Макарова А.А., Климова Н.С., Литвинов А.М., Вагнер В.И. Математическое моделирование и прогнозирование релаксационных и деформационных процессов композитов, армированных текстильными материалами//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2021, № 6 (396), с. 226-231. (Scopus)

27. Klimova N.S., Wagner V.I., Ovsyannikov D.A., Litvinov A.M. Mathematical Modeling of Functional Processes of Polymeric Textile Materials// Fibre Chemistry, 2022, Vol. 54, No. 3, pp. 166-169. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С., Вагнер В.И., Овсянников Д.А., Литвинов А.М. Математическое моделирование функциональных процессов полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2022, № 3, с. 24-27.

28. Khammatova E.A., Gainutdinov R.F., Klimova N.S., Ovsyannikov D.A. Use of plasma treatment to increase the strength of protective clothing made of composite material//Fibre Chemistry, 2022, Vol. 54, No. 4, pp. 218-221. (Scopus)

Русский вариант: Хамматова Э.А., Гайнутдинов Р.Ф., Климова Н.С., Овсянников Д.А. Применение плазменной обработки для повышения прочности шва спецодежды из композиционного материала// Химические волокна, 2022, № 4, с. 5-8.

29. Pereborova N.V., Klimova N.S., Wagner V.I. Determination of irreversible deformation for numerical prediction of functional processes of geotechnical nonwoven materials //Fibre Chemistry, 2022, Vol. 54, No. 6, pp. 388-390. (Scopus)

Русский вариант: Переборова Н.В., Климова Н.С., Вагнер В.И. Учет необратимой деформации при цифровом прогнозировании эксплуатационных процессов геотекстильных нетканых материалов// Химические волокна, 2022, № 6, с. 58-59.

30. Егорова М.А., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М. Вариант математического моделирования эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2022, № 4 (400), с. 185-191. (Scopus)

31. Макаров А.Г., Вагнер В.И., Климова Н.С. Применение цифрового прогнозирования при определении упругих, вязкоупругих и пластических компонент деформации текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2022, № 3, с. 14-19.

32. Klimova N.S. Development of recommendations for the design of polymeric textile materials for medical purposes// Fibre Chemistry, 2023, Vol. 55, No. 2, pp. 76-78. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С. Разработка рекомендаций по проектированию полимерных текстильных материалов медицинского назначения//Химические волокна, 2023 - 2, с. 20-22.

33. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F., Klimova N.S. Obtaining a multifunctional textile material using plasma and metal nanoparticles// Fibre Chemistry, 2023, Vol. 55, No. 2, pp. 132-134. (Scopus)

Русский вариант: Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф., Климова Н.С. Получение многофункционального текстильного материала с использованием плазмы и наночастиц металла//Химические волокна, 2023 - 2, с. 74-76.

34. Klimova N.S. Methodology for mathematical modeling of viscoelasticity of oriented polymeric materials// Fibre Chemistry, 2023, Vol. 55, No. 3, pp. 163-166. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С. Методология математического моделирования вязкоупругости ориентированных полимерных материалов// Химические волокна, 2023 - 3, с. 27-30.

35. Klimova N.S. System analysis of the deformation properties of polymer sea ropes// Fibre Chemistry, 2023, Vol. 55, No. 3, pp. 200-204. (Scopus)

Русский вариант: Климова Н.С. Системный анализ деформационных свойств полимерных морских канатов// Химические волокна, 2023 - 3, с. 63-66.

36. Климова Н.С. Оценка функциональности полимерных текстильных материалов с целью повышения их конкурентоспособности//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2023, № 4 (406), pp. 110-116. (Scopus)

37. Климова Н.С. Качественная оценка эксплуатационных свойств полимерных нитей на стадии их проектирования и организации производства//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2023, № 5 (407), с. 62-66. (Scopus)

38. Климова Н.С. Проведение оценки функциональности полимерных текстильных материалов с целью повышения их конкурентоспособности // Известия

высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023, № 2, с. 32-35.

39. Климова Н.С. Вариант математического моделирования деформационных свойств полиэфирных крученых нитей // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 3, с. 29-33.

40. Переборова Н.В., Климова Н.С. Качественная оценка деформационных процессов полимерных текстильных эластомеров // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 4, с. 44-47.

41. Н.В. Переборова, Н.С. Климова. Математическое моделирование - основа качественного анализа деформационно-релаксационных процессов арамидных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 64-68.

42. Климова Н.С. Моделирование процесса усадки и анализ деформационно-восстановительных свойств арамидных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 92-97.

43. Н.С. Климова. Решение задачи повышения конкурентоспособности отечественных арамидных текстильных материалов на основе анализа и прогнозирования их функциональных свойств // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 54-59.

44. Макаров А.Г., Демидов А.В., Климова Н.С. Моделирование и цифровое прогнозирование эксплуатационных режимов геотекстильных нетканых материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 73-79.

45. Егоров И.М., Егорова М.А., Климова Н.С. Методы спектрального анализа деформационных и восстановительных режимов полимерных нетканых материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 44-48.

46. Вагнер В.И., Чистякова Е.С., Климова Н.С., Томашевич Я.С. Определение степени достоверности цифрового прогнозирования эксплуатационных режимов полимерных текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 6, с. 35-38.

Статьи из категории К2

47. Переборова Н.В., Климова Н.С., Абрамова И.В., Кобякова Ю.В.. Методы компьютерного прогнозирования деформационных процессов технического текстиля// Дизайн. Материалы. Технология, 2017, № 3, с. 97-104.

48. 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.

49. Климова Н.С., Переборова Н.В., Литвинов А.М., Козлов А.А. Компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Дизайн. Материалы. Технология, 2021, № 2, с. 120-130.

50. 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.

51. Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Литвинов А.М. Разработка методов оптимизации прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Дизайн. Материалы. Технология, 2021, № 3, с. 127-133.

52. Литвинов А.М., Климова Н.С., Демидов А.В. 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.

53. Демидов А.В., Луканин П.В., Макаров А.Г., Литвинов А.М., Климова Н.С. 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.

54. 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.

55. 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.

56. Климова Н.С., Вагнер В.И., Овсянников Д.А., Литвинов А.М. Компьютерное моделирование функциональных процессов текстильных материалов//Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 1 (65), с. 161-168.

57. Климова Н.С., Вагнер В.И., Овсянников Д.А., Литвинов А.М. Цифровизация прогнозирования процессов ползучести швейных материалов //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 2, с.88-92.

58. Переборова Н.В., Климова Н.С., Литвинов А.М., Титова Л.В. Пути повышения конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 2, с. 116-120.

59. Переборова Н.В., Климова Н.С. Прогнозирование деформационных процессов геотекстильных нетканых материалов с учетом поправки на необратимость деформации //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 4 (68), с. 104-108.

60. Вагнер В.И., Козлов А.А., Климова Н.С. Учет влияния деформации на свойства геотекстильных нетканых материалов при их эксплуатации //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 4 (68), с. 120-124.

61. Макаров А.Г., Киселев С.В., Климова Н.С. Решение задачи повышения точности математического моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 4 (68), с. 148-152.

62. Макаров А.Г., Вагнер В.И., Климова Н.С. Математическое моделирование деформационных режимов эксплуатации полимерных текстильных материалов с повышенной точностью //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 3, с. 105-108.

63. Переборова Н.В., Климова Н.С. Учет необратимого компонента деформации при прогнозировании деформационных процессов геотекстильных нетканых материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 4, с. 101-104.

64. Климова Н.С. Компьютерное моделирование деформационных свойств полимерных текстильных нитей для парашютостроения // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 3, с. 113-117.

65. Вагнер В.И., Козлов А.А., Климова Н.С., Егорова М.А. Методы системного анализа при исследовании деформационных свойств медицинских текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 4, с. 141-148.

66. Переборова Н.В., Климова Н.С., Ермин Д.А., Томашевич Я.С. Рекомендации по разработке текстильных материалов медицинского назначения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023, № 1, с. 35-40.

67. Климова Н.С. Математическое моделирование деформационных процессов полиэфирных крученых нитей//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023, № 2, с. 99-103.

68. Климова Н.С. Математическое моделирование и системный анализ деформационных свойств полимерных нитей для парашютостроения//Вестник

Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023,- № 2, с. 14-17.

69. Климова Н.С., Макаров А.Г. Спектрально-временная теория вязкоупругости полимерных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 3, с. 114-118.

70. Демидов А.В., Переборова Н.В., Климова Н.С. Разработка цифровых критериев качественной оценки потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 3, с. 86-91.

Другие издания

71. Переборова Н.В., Климова Н.С., Матюшин Н.С., Пантелеев Я.А., Степанов Р.О. Системный анализ деформационных свойств текстильных материалов сложной структуры // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017, № 3, с. 87-94.

72. 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, с. 106 - 113.

73. Переборова Н.В., Климова Н.С., Кобякова Ю.Б., Абрамова И.В. Моделирование сложных режимов деформирования полимерных текстильных материалов как инструмент оценки и улучшения их функционально-эксплуатационных свойств//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017, № 5, с. 71-78.

74. Переборова Н.В., Климова Н.С., Кобякова Ю.Б., Абрамова И.В. Исследование деформационных свойств арамидных текстильных материалов с целью улучшения их функционально-эксплуатационных характеристик//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2017, №5, с. 104-112.

75. Переборова Н.В., Климова Н.С., Абрамова И.В., Кобякова Ю.В. Компьютерное моделирование деформационных процессов арамидных материалов//Инновации молодежной науки. Тезисы докладов всероссийской научной конференции молодых ученых. 2017, с. 7-8.

76. Переборова Н.В., Климова Н.С., Вьюгина Н.А., Антонова И.А. Математическое моделирование деформационных свойств полимерных текстильных

материалов// Инновации молодежной науки. Тезисы докладов всероссийской научной конференции молодых ученых. 2017, с. 8-9.

77. Переборова Н.В., Кобякова Ю.В., Абрамова И.В., Климова Н.С. Моделирование и спектральный анализ вязкоупругой ползучести геотекстильных нетканых материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2018, № 2, с. 115-125.

78. Переборова Н.В., Климова Н.С., Кобякова Ю.В., Абрамова И.В., Яшина А.А. Проведение качественного анализа релаксационно-деформационных свойств арамидных текстильных материалов на стадии организации их производства//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. 2018, № 1, с. 16-26.

79. Переборова Н.В., Чистякова Е.С., Климова Н.С., Макаров А.Г. Организация производства (текстильная и легкая промышленность). Изд-во: СПбГУПТД. 2018. – 53 с.

80. Переборова Н.В., Чистякова Е.С., Климова Н.С., Макаров А.Г. Управление в социальных и экономических системах. Изд-во: СПбГУПТД. 2018. – 56 с.

81. Переборова Н.В., Чистякова Е.С., Климова Н.С., Макаров А.Г. Управление экономическими системами. Изд-во: СПбГУПТД. 2018. – 113 с.

82. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Литвинов А.М., Климова Н.С. Разработка критериев доверительного прогнозирования деформационных и релаксационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 2, с. 3-13.

83. Переборова Н.В., Климова Н.С., Литвинов А.М., Агеева Е.А. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 2, с. 41-51.

84. Козлов А.А., Климова Н.С., Смирнов А.М., Чекмарев Н.С., Шабала М.Д. Математические модели эксплуатационных свойств термостойких арамидных материалов двойного назначения //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 1, с. 115-123.

85. Козлов А.А., Климова Н.С., Яхья Л., Бегунова И.В., Кузьменко М.М. Разработка методов определения релаксационных и деформационных характеристик полимерных текстильных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 2, с. 90-98.

86. Козлов А.А., Климова Н.С., Смирнов А.М., Чекмарев Н.С., Шабала М.Д. Разработка математических моделей деформационных свойств термостойких арамидных материалов // Всероссийская конференция молодых ученых «Инновации молодежной науки», 2021, с. 18-20.

87. Переборова Н.В., Климова Н.С. Моделирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов в условиях переменной температуры // Всероссийская конференция молодых ученых «Инновации молодежной науки», 2021, с. 24-25.

88. 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..

89. Климова Н.С., Переборова Н.В. Цифровое прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов // II Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах», СПб., 2021, с. 35-37.

90. Переборова Н.В., Климова Н.С., Вагнер В.И. Повышение конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности на основе методов цифровой экономики. Изд-во: ФГБОУ ВО «СПбГУПТД», 2021. - 103 с.

91. Климова Н.С., Переборова Н.В. Цифровое моделирование деформационных процессов арамидных материалов// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Инновации молодежной науки», 2022, с. 27-29.

92. Климова Н.С., Переборова Н.В. Спектральное моделирование полимерных текстильных наноматериалов// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Инновации молодежной науки», 2022, с. 42-43.

93. Климова Н.С., Переборова Н.В. Цифровое прогнозирование эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов // III Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах», СПб., 2022, с. 18-21.

94. Переборова Н.В., Климова Н.С., Вагнер В.И.. Методы качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных материалов текстильной и легкой промышленности. Изд-во: СПбГУПТД, 2022, 124 с.

95. Переборова Н.В., Климова Н.С., Вагнер В.И. Вычисление компонента необратимой деформации деформационных процессов нетканых материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. - 2023. - № 1, с. 52-54.

96. Климова Н.С. Проведение качественной оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных нитей//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2023, № 2, с. 31-34.

97. Вагнер В.И., Козлов А.А., Климова Н.С., Егорова М.А. Проведение системного анализа деформационных свойств полипропиленовых и поливинилиденфторидных медицинских материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2023, № 3, с. 14-20.

98. Климова Н.С., Переборова Н.В. Математическое моделирование и оценка функциональных свойств полимерных текстильных материалов //Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция с международным участием. Часть 1, 2023, с. 22-24.

99. Климова Н.С., Переборова Н.В. Цифровое моделирование физико-механических процессов арамидных материалов //Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция с международным участием. Часть 1, 2023, с. 28-30.

100. Н.С. Климова, Н.В. Переборова. Разработка методологии цифрового прогнозирования основополагающих деформационных процессов полимерных текстильных материалов //IV Международная научная конференция «Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах» - СПб., 2023, с. 57-61.

Программы для ЭВМ

101. Переборова Н.В., Климова Н.С., Козлов А.А., Буряк Е.А. Системный анализ деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660121 от 14.09.2017.

102. Переборова Н.В., Климова Н.С., Егорова М.А., Буряк Е.А. Сравнительный анализ деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660118 от 14.09.2017

103. Переборова Н.В., Климова Н.С., Козлов А.А., Буряк Е.А. Качественный анализ деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017660122 от 14.09.2017

104. Переборова Н.В., Киселев С.В., Чистякова Е.С., Климова Н.С. Прогнозирование релаксационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612848 от 01.03.2018.

105. Переборова Н.В., Веретенников Е.А., Макаров А.Г., Климова Н.С. Прогнозирование функционально-деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612843 от 01.03.2018

106. Переборова Н.В., Веретенников Е.А., Макаров А.Г., Климова Н.С. Прогнозирование релаксационно-деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612703 от 22.02.2018.

107. Переборова Н.В., Киселев С.В., Чистякова Е.С., Климова Н.С. Проведение сравнительного анализа релаксационно-эксплуатационных свойств полимерных

текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612704 от 22.02.2018.

108. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Моделирование эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660037 от 22.06.2021.

109. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Прогнозирование эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660231 от 23.06.2021.

110. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Качественная оценка эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660224 от 23.06.2021.

111. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Системный анализ эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660232 от 23.06.2021.

112. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Прогностическая оценка эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660038 от 22.06.2021.

113. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Оптимизация эксплуатационно-деформационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660225 от 23.06.2021.

114. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Моделирование эксплуатационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660042 от 22.06.2021.

115. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Прогнозирование эксплуатационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660036 от 22.06.2021.

116. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Качественная оценка эксплуатационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660230 от 23.06.2021.

117. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Системный анализ эксплуатационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660041 от 22.06.2021.

118. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Прогностическая оценка эксплуатационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660686 от 30.06.2021.

119. Литвинов А.М., Климова Н.С., Переборова Н.В., Козлов А.А. Оптимизация эксплуатационно-релаксационных полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660099 от 22.06.2021.

120. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М. Математическое моделирование релаксационных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661890 от 28.06.2022.

121. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М. Математическое моделирование деформационных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662404 от 04.07.2022.

122. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М. Математическое моделирование восстановительных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662683 от 06.07.2022.

123. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Литвинов А.М. Математическое моделирование вязкоупругих свойств полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661960 от 28.06.2022.

124. Климова Н.С., Литвинов А.М., Киселев С.В., Козлов А.А. Прогнозирование релаксационных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662885 от 07.07.2022.

125. Климова Н.С., Литвинов А.М., Киселев С.В., Козлов А.А. Прогнозирование деформационных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662191 от 30.06.2022.

126. Климова Н.С., Литвинов А.М., Киселев С.В., Козлов А.А. Прогнозирование восстановительных режимов полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663115 от 12.07.2022.

127. Климова Н.С., Литвинов А.М., Киселев С.В., Козлов А.А. Прогнозирование вязкоупругих свойств полимерных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661893 от 28.06.2022.

128. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Томашевич Я.С. Прогнозирование эксплуатационных процессов технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661129 от 29.05.2023.

129. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Климова Н.С., Томашевич Я.С. Прогнозирование функциональных процессов технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661128 от 29.05.2023.

130. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Макаров А.Г., Климова Н.С. Расчет показателей качественной оценки деформационных свойств технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663833 от 28.06.2023.

131. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Макаров А.Г., Климова Н.С. Расчет показателей качественной оценки релаксационных свойств технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663686 от 27.06.2023.

132. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Макаров А.Г., Климова Н.С. Расчет показателей качественной оценки вязкоупругих свойств технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663739 от 27.06.2023.

133. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Макаров А.Г., Климова Н.С. Расчет показателей качественной оценки восстановительных свойств технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663640 от 27.06.2023.

134. Егорова М.А., Егоров И.М., Томашевич Я.С., Климова Н.С. Расчет параметров математических моделей релаксационных процессов технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663639 от 27.06.2023.

135. Егорова М.А., Егоров И.М., Томашевич Я.С., Климова Н.С. Расчет параметров математических моделей восстановительных процессов технических тканей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664167 от 03.07.2023.

136. Переборова Н.В., Колодин А.А., Климова Н.С. Расчет параметров-характеристик математических моделей релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663835 от 28.06.2023.

137. Переборова Н.В., Колодин А.А., Климова Н.С. Расчет параметров-характеристик математических моделей вязкоупругих процессов полимерных текстильных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663839

Климова Наталья Сергеевна

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук
в виде научного доклада

Подписано в печать 27.06.2024. Печ. л. 2,625. Тираж 100.

РИО КГУ, Кострома, ул. Дзержинского, 17/11.