

На правах рукописи

Переборова Нина Викторовна

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МЕТОДОВ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Специальность: 05.19.01 - Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург, 2015

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 руководитель:

Макаров Авинир Геннадьевич,
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", заведующий кафедрой интеллектуальных систем и защиты информации

Официальные оппоненты:

Слуцкер Александр Ильич,
доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, главный научный сотрудник

Романова Алла Александровна,
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный экономический университет", доцент кафедры инженерных дисциплин

Ведущая организация:

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского"

Защита диссертации состоится 01 марта 2016 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд.241.

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

Автореферат разослан "___" января 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.236.01
доктор технических наук, профессор

Полякова Екатерина Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В основе разрабатываемых критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности лежит математическое моделирование релаксационных и деформационных процессов указанных материалов. Улучшение качества материалов всегда являлась актуальной задачей производств текстильной и легкой промышленности, но особую значимость для развития экономики Российской Федерации она приобретает в период продолжающихся международных санкций. Решение поставленных перед текстильной и легкой промышленностью задач по улучшению качества материалов соответствует "Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2015 года", разработанной по поручениям Президента РФ (№ Пр-1369 от 03.07.08) и Правительства РФ (№ ВП-П9-4244 от 15.07.08), а также рекомендованной к продлению на срок до 2020 года новой редакции "Стратегии" (Постановление Правительства РФ от 07.08.15).

Материалы текстильной и легкой промышленности - это не только товары бытового назначения, но и большая группа изделий специального назначения, применяемых в различных отраслях техники, включая оборонную промышленность, авиастроение, ракетостроение, автомобилестроение, судостроение и т.д. Текстильная и легкая промышленность страны - это важнейший многоуровневый сектор экономики, влияющий на укрепление обороноспособности страны, на ее экономическую, социальную и интеллектуальную безопасность. Поэтому, в настоящее время, актуальной задачей является разработка методов оценки качества производимой отраслью продукции и разработка новых инновационных материалов, обладающих разнообразными функциональными свойствами.

Разработка инновационных методов разработки и исследования материалов текстильной и легкой промышленности позволит ускорить как всестороннее динамическое развитие отрасли, так и осуществить наискорейший переход к импортозамещению выпускаемых материалов. Улучшение качества материалов текстильной и легкой промышленности необходимо проводить на основе комплексных системных исследований всего разнообразия их свойств, а также внедрения передовых компьютерных технологий в научные исследования и производство. Решение этой задачи позволит улучшить качество производимой продукции, что одновременно будет способствовать повышению экономической безопасности России.

Цель работы состоит в разработке критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности на основе математического моделирования указанных свойств и внедрения компьютерных технологий.

Основными задачами исследования являются:

- методы математического моделирования и оптимизации функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;
- разработка методов определения релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных характеристик материалов текстильной и легкой промышленности;
- разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;
- разработка интегральных критериев оптимальности математического моделирования функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;
- компьютеризация методов определения релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных характеристик материалов текстильной и легкой промышленности;
- компьютеризация критериев качественной оценки функционально-потребительских и

эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;

- практическая реализация разработанных методов определения и качественной оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности.

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

Научная новизна работы состоит в:

- разработке математических моделей функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, необходимых для оценки их качества;

- разработке десяти локальных и двух интегрированных критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;

- разработке интегральных критериев оптимальности математического моделирования релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности;

- компьютерной реализации методов определения функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также критериев качественной оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности.

Практическая значимость работы.

Разработанные математические модели функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также созданные на их основе методы определения и качественной оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов, целесообразно применять на стадиях проектирования и производства текстильной продукции с целью улучшения ее качества.

Разработанные локальные и интегрированные критерии качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности служат практической основой для улучшения качества указанных материалов и их повышения конкурентоспособности.

Разработанные интегральные критерии оптимальности математического моделирования функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности позволяют выявить перспективные математические модели указанных свойств.

Благодаря компьютеризации критериев качественной оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности появился механизм практического применения указанных критериев с целью оценки и улучшения качества исследуемых материалов.

Апробация результатов работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались соискателем на международных, всероссийских и региональных научных конференциях и семинарах: "Международный научно-практический семинар "Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки", "Всероссийская научная конференция молодых ученых "Инновации молодежной науки"", "Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов".

Автор диссертационного исследования является неоднократным победителем конкурсов грантов для аспирантов, проводимых Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга, а также получателем аспирантских стипендий Президента РФ.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 107 научных работ (в том числе 11 без соавторов), из которых 35 - в ведущих рецензируемых научных изданиях из "Перечня ВАК" (в том числе 4 без соавторов), 38 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (224 наименования) и двух приложений. Основное содержание диссертации изложено на 146 страницах машинописного текста, иллюстрировано 15 рисунками и содержит 21 таблицу.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дано обоснование актуальности научного направления по разработке критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности на основе математического моделирования релаксационных и деформационных процессов указанных материалов, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** дается обзор литературы по тематике диссертации, описываются проблемы, связанные с проведением качественных оценок функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности.

Механизм решения задач в области качественных оценок функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности носит комплексный, системный и многоцелевой характер. Он касается нескольких направлений исследований: от проведения экспериментальных исследований до разработки и применения качественных и оптимизационных критериев функционально-потребительских и эксплуатационных свойств указанных материалов. Проведение качественных оценок функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности имеет важное стратегическое значение, так как это оно служит основой для создания материалов, обладающей большей конкурентоспособностью.

В главе рассматриваются также вопросы внедрения современных компьютерных технологий в проведение качественных оценок функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, что позволяет наилучшим образом осуществить решение поставленной задачи повышения качества исследуемых материалов.

Вторая глава посвящена вопросам разработки критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности на основе математического моделирования, исследования и оптимизации указанных свойств. Разрабатываемые критерии являются основополагающими для улучшения качества материалов текстильной и легкой 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 функционально-потребительских и эксплуатационных свойств указанных материалов. Немаловажной задачей таких исследований является разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов в рыночных условиях и в условиях импортозамещения.

Разрабатываемые инновационные методы проведения научных исследований функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также критериев контроля и оценки их качества предлагается

осуществлять на основе математического моделирования, системного комплексного анализа указанных свойств, информационных технологий и вычислительных компьютерных методов.

Разработанный критерий оптимизации релаксационно-восстановительных свойств материалов текстильной и легкой промышленности:

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

носит интегрированный характер (здесь: N - число исследуемых образцов материала) и включает в себя оптимизацию по пяти частичным критериям релаксационно-восстановительных свойств 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 ($\alpha_3 = (100\%) / \varepsilon_p - 1$);
- временному критерию восстановления функционально-потребительских свойств материала после эксплуатации ($\alpha_4 = \overline{\tau}_\varepsilon / t_1$);
- критерию устойчивости материала к многократному восстановлению после эксплуатации ($\alpha_5 = E_\infty / (E_0 - E_\infty)$).

Аналогично, разработанный критерий оптимизации деформационно-эксплуатационных материалов текстильной и легкой промышленности:

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

также носит интегрированный характер и включает в себя оптимизацию по пяти частичным критериям деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов, а именно по:

- критерию интенсивности деформирования материала в процессе эксплуатации ($\beta_1 = b_{n\sigma}$);
- критерию степени деформируемости материала в процессе эксплуатации ($\beta_2 = D_0 / (D_0 + D_\infty)$);
- критерию возможности многократного деформирования материала в процессе эксплуатации ($\beta_3 = \sigma_0 / \sigma_p$);
- временному критерию деформационных воздействий на материал в процессе эксплуатации ($\beta_4 = \overline{\tau}_\sigma / t_1$);
- критерию устойчивости материала к многократному деформированию в процессе эксплуатации ($\beta_5 = D_0 / (D_\infty - D_0)$).

Все перечисленные здесь переменные являются параметрами:

- математической модели релаксационно-восстановительных свойств материалов текстильной и легкой промышленности:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \varphi_{\varepsilon t}. \quad (3)$$

где

$$\varphi_{\varepsilon t} = 0,5 + \arctg(\ln(t / \tau_\varepsilon) / b_{n\varepsilon}) / \pi - \quad (4)$$

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

$$E_{\varepsilon t} = \sigma_t / \varepsilon, \quad (5)$$

имеющий два асимптотических значения:

$$E_0 = \lim_{t \rightarrow 0} E_{\varepsilon t}, \quad E_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} E_{\varepsilon t}, \quad (6)$$

τ_{ε} - функция времен релаксации, $b_{n\varepsilon}$ - характеристика интенсивности релаксации, ε - деформация, σ_t - напряжение, t - время, t_1 - нормирующее время, $\bar{\tau}_{\varepsilon}$ - среднее релаксационное время, определяемое по формуле:

$$\bar{\tau}_{\varepsilon} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)^{-1} \cdot \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \tau_{\varepsilon} \cdot d\varepsilon, \quad (7)$$

здесь ε_1 - наименьшее значение из интервала исследуемых деформаций, ε_2 - наибольшее значение из интервала исследуемых деформаций;

- либо параметрами математической модели деформационно-эксплуатационных свойств продукции текстильной и легкой промышленности:

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_{\infty} - D_0) \varphi_{\sigma t}. \quad (8)$$

где

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

нормированная деформационная функция НАЛ; податливость

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

имеющая два асимптотических значения:

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

τ_{σ} - функция времен запаздывания (ползучести), $b_{n\sigma}$ - характеристика интенсивности деформирования, $\bar{\tau}_{\sigma}$ - среднее деформационное время, определяемое по формуле:

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

здесь σ_1 - наименьшее значение из интервала исследуемых напряжений, σ_2 - наибольшее значение из интервала исследуемых напряжений.

Выбор в качестве основы математических моделей релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности функции НАЛ не случаен, так как вероятностное распределение Коши, интегральной функцией распределения которого она является, обладает замечательным свойством: сумма характеристик, распределенных по вероятностному закону Коши, также имеет своим распределением вероятностное распределение Коши. Для оценки свойств материалов текстильной и легкой промышленности выполнение этого правила чрезвычайно важно, из-за того, что любой сложный материал текстильной и легкой промышленности представляет совокупность более простых 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 во второй главе критерии качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, также, как и разработанные на их основе обобщенные интегрированные критерии оптимизации указанных свойств (1) и (2) позволяют, не только оценивать качественные свойства материалов текстильной и легкой промышленности, но и осуществлять их оптимизацию, добиваясь улучшения функционально-потребительских и эксплуатационных свойств указанных материалов.

В третьей главе предлагаются интегральные критерии оптимальности математического моделирования функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, которые разработаны с использованием интегральных определяющих уравнений типа Больцмана-Вольтерра релаксационно-восстановительных и

деформационно-эксплуатационных процессов указанных материалов.

Прогнозирование и исследование функционально-потребительских и эксплуатационных свойств продукции текстильной и легкой промышленности существенно зависит от разных факторов, среди которых: точность экспериментальных данных, адекватность физической и математической модели, оптимальный выбор метода математического моделирования. Увеличение 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 функционально-потребительских и эксплуатационных свойств продукции текстильной и легкой промышленности является метод оптимизации параметров математической модели.

Для прогнозирования релаксационно-восстановительных свойств материалов текстильной и легкой промышленности предлагается использовать определяющее интегральное уравнение Больцмана-Вольтерра с различными интегральными ядрами

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

где t - время, σ_t - напряжение, ε_t - деформация, E_∞ - модуль вязкоупругости, E_0 - модуль упругости, $\varphi'_{\varepsilon t}$ - ядро релаксации.

Аналогично, для моделирования деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов, предлагается использовать уравнение

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

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

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

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

ИВ (интеграл вероятностей), характеризующую нормальное распределение;

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

ГТ (гиперболический тангенс);

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

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

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

НАЛ (нормированный арктангенс логарифма).

Здесь a_n , A , k , b_n – параметры интенсивности релаксационно-восстановительного и деформационно-эксплуатационного процессов соответственно, характеризующие скорости указанных процессов, t/τ – приведенное время).

Наличие нескольких математических моделей, в которых применяются разные подынтегральные функции, оправдано и позволяет получать результаты прогноза, независимые друг от друга. Прогнозируемые характеристики, полученные усреднением характеристик, определенных с использованием разных математических моделей, обладают более высокой степенью достоверности, чем характеристики, определенные с использованием одной математической модели.

При прогнозировании и исследовании функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности с использованием определяющих уравнений (13) и (14) возникает вопрос о достоверности и надежности такого прогнозирования. Ответ на это дают разработанные интегральные критерии оптимизации функционально-потребительских релаксационно-восстановительных свойств:

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

и оптимизации функционально-потребительских деформационно-эксплуатационных свойств:

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

где T - полное время прогнозируемого процесса, $\chi(\ln t / \tau_\sigma)$ и $\chi(\ln t / \tau_\varepsilon)$ - интегральные функции:

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

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

здесь $D_{\sigma t} = \varepsilon_t / \sigma$ - податливость, $E_{\varepsilon t} = \sigma_t / \varepsilon$ - модуль релаксации.

Разработанные критерии оптимизации качества прогнозирования (19), (20) получены из уравнения (13) при $\sigma = const$

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

где $E'_{\varepsilon t} = \partial E_{\varepsilon t} / \partial (\ln(t/t_1))$, и из уравнения (12) при $\varepsilon = const$

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

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

Идея критериев оптимизации математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности основана на том факте, что, чем более удачным будет выбор интегральных ядер $\varphi'_{\varepsilon; t}$ и $\varphi'_{\sigma; t}$, а, следовательно, и $D_{\sigma t}$ и $E_{\varepsilon t}$, тем отклонения левых частей (23) и (24) от "единичных" значений будет наименьшим.

На рис. 1 и рис. 2 приводятся графики интегральных функций $\chi(\ln t / \tau_\sigma)$ и $\chi(\ln t / \tau_\varepsilon)$, соответствующих подынтегральным функциям $\varphi'_{\varepsilon; t}$ и $\varphi'_{\sigma; t}$, (15) и (18) для различных значений ε и σ при прогнозировании релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов полимерной текстильной лавсановой нити линейной плотности 114 текс.

Приведенные на рис. 1 и рис. 2 результаты визуально показывают некоторое преимущество функции НАЛ перед функцией ИВ при моделировании деформационных свойств текстильной лавсановой нити.

Разработанные критерии оптимизации математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности (19), (20) позволяют ответить на вопрос о выборе наилучшей математической модели релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности для последующего прогнозирования их функционально-потребительских и эксплуатационных свойств.

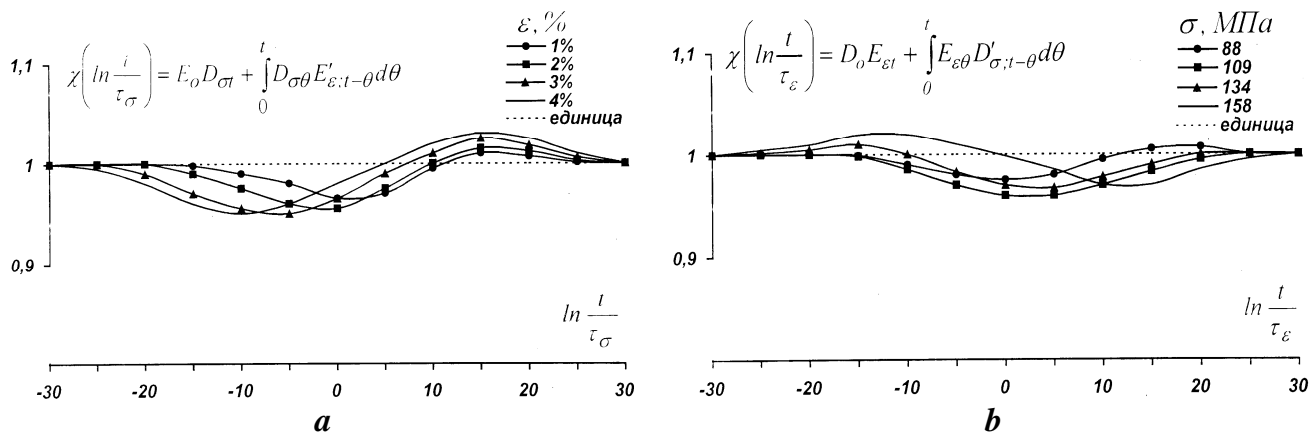


Рисунок 1 - Применение критериев (19) - (а), (20) - (b) с функцией НАЛ к текстильной лавсановой нити 114 текс.

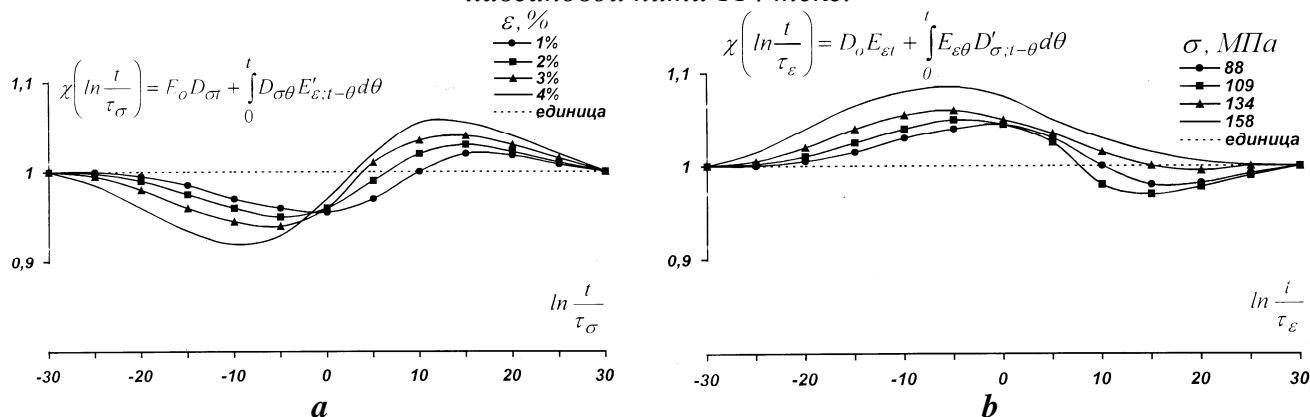


Рисунок 2 - Применение критериев (19) - (а), (20) - (b) с функцией ИВ к текстильной лавсановой нити 114 текс.

Применение разработанных интегральных критериев оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности показало целесообразность использования для оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов вероятностного распределения Коши, обладающего свойством аддитивности характеристик, что актуально при исследовании свойств материалов, представляющих из себя сложные аддитивные системы, каковыми являются материалы текстильной и легкой промышленности.

Приведенные критерии оптимизации функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств (19), (20) позволяют проводить также оценку указанных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, как на стадии ее производства, так и на стадии ее проектирования. Следует также заметить, что практическая реализация разработанных критериев предполагает большой объем вычислений, что возможно только на основе использования современных компьютерных технологий.

Четвертая глава посвящена компьютеризации критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности.

Проведение качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности должно опираться на использование современных информационных технологий с привлечением компьютерной техники. Только в этом случае будет осуществлена наиболее точная оценка функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов.

Для практической реализации предложенных методов определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных

свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также критериев их качественной оценки необходима разработка соответствующих компьютерных алгоритмов и программного обеспечения.

На рис.3 приведен пример компьютерного алгоритма, позволяющего определять релаксационно-восстановительные и деформационно-эксплуатационные характеристики материалов текстильной и легкой промышленности для оценки их качественных свойств.

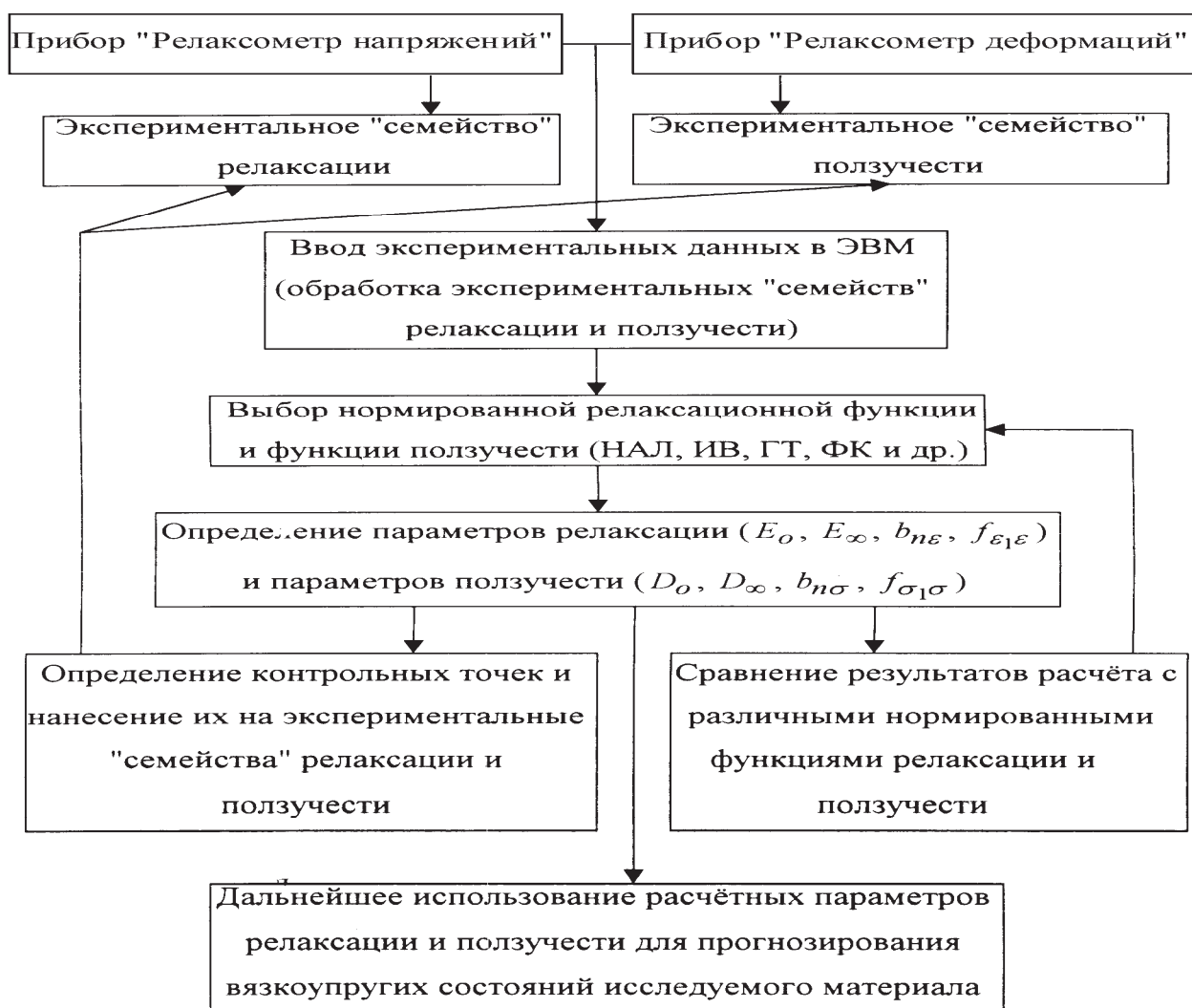


Рисунок 3 - Алгоритм программы для ЭВМ по определению релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных характеристик материалов текстильной и легкой промышленности.

Практическое применение интегрального критерия оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности также невозможно без использования компьютерной техники ввиду большого числа вычислений.

Поэтому компьютеризация критериев качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности играет важную роль для достижения поставленных целей - разработки и производства материалов, обладающих определенным набором качественных функционально-потребительских эксплуатационных свойств.

Компьютеризация разработанных методов позволяет проводить, как всестороннее исследование свойств материалов текстильной и легкой промышленности, так и осуществлять мероприятия по целенаправленному технологическому отбору образцов материалов, обладающих наилучшими функционально-потребительскими и эксплуатационными свойствами.

В пятой главе для группы текстильных материалов (текстильных нитей разного компонентного состава и различной линейной плотности; капроновых лент разной линейной плотности по основе и по утку; технических тканей разной линейной плотности по основе и по утку) рассмотрено практическое применение методов определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также практическое применение критериев качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности.

На основе методов определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности проводится определение численных релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных характеристик указанных материалов. Найденные релаксационно-восстановительные и деформационно-эксплуатационные характеристики используются в критериях качественной оценки функционально-потребительских и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности для качественной оценки указанных свойств изучаемых материалов.

По результатам применения критериев качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности даются рекомендации по направлениям использования исследуемых материалов для тех или иных потребительских и эксплуатационных целей.

Применение критериев качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности открывает пути к созданию более качественной текстильной продукции, обладающей большей конкурентоспособностью.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные математические модели функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности являются основой для разработки качественных критериев оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов.

2. Разработанные на основе математического моделирования методы определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности целесообразно применять на стадиях проектирования и исследования указанных материалов с целью целенаправленного отбора лучших из них по критериям релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств.

3. Разработанные критерии качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, включающие в себя десять локально-оценочных параметров качества, позволяют проводить отбор указанных материалов по критерию наилучшего соотношения их релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств функционально-потребительскому и эксплуатационному использованию.

4. Разработанные интегрированные критерии оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности позволяют осуществлять системный глобальный контроль качества проектируемых и производимых текстильных материалов.

5. Разработанные на основе математического моделирования методы численного расчета функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и

деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности позволяют с достаточной степенью точности прогнозировать релаксационно-восстановительные и деформационно-эксплуатационные процессы указанных материалов.

6. Разработанные интегральные критерии оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности являются подтверждением адекватности разработанных математических моделей релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов, а также достоверности и надежности численного прогнозирования их релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов.

7. Компьютеризация определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных характеристик материалов текстильной и легкой промышленности позволяет автоматизировать процесс их расчета.

8. Компьютеризация критериев качественной оценки функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности позволяет получить практическое средство для качественной оценки релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств указанных материалов.

9. Компьютерная реализация интегральных критериев оптимальности математического моделирования функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных процессов материалов текстильной и легкой промышленности является практическим инструментом для выбора наилучшей математической модели релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных указанных материалов.

10. Практическое применение методов определения функционально-потребительских релаксационно-восстановительных и деформационно-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности, а также критериев их качественной оценки служит основой для разработки инновационных текстильных материалов с набором функциональных свойств и повышения конкурентоспособности материалов текстильной и легкой промышленности.

11. Все разработанные методы прошли успешную апробацию на отраслевых предприятиях и в научно-исследовательских организациях Санкт-Петербурга.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях из "Перечня ВАК"

1. Переборова, Н.В. Повышение качества продукции текстильной и легкой промышленности на основе внедрения информационных технологий в научные исследования / Н.В. Переборова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2015. – № 4. – С. 53 – 62.

2. Переборова, Н.В. Разработка инновационных методов контроля эксплуатационных свойств и повышения качества материалов текстильной и легкой промышленности / Н.В. Переборова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2015. – т. 29. – № 3. – С. 11 – 19.

3. Переборова, Н.В. Разработка критериев качественной оценки функционально-потребительских свойств продукции текстильной и легкой промышленности с целью управления качеством продукции / Н.В. Переборова // Материалы. Дизайн. Технология – 2015. – № 4 (39). – С. 84 – 92.

4. Переборова, Н.В. Разработка стратегической программы создания инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности / Н.В. Переборова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2015. – т. 29. – № 3. – С. 35 – 42.

5. Makarov, A.G. Computer modeling and prediction of the deformation properties of polymeric marine cables / A.G. Makarov, N.V. Pereborova, V.I. Vagner, E.K. Vasil'eva // Fibre Chemistry. – 2015 –

v. 47 (1) – P. 51 – 57.

6. Makarov, A.G. Mathematical modeling of relaxation and creep for medical-grade polymer yarns / A.G. Makarov, N.V. Pereborova, V.I. Vagner, E.K. Vasil'eva // *Fibre Chemistry*. – 2015. – v. 46 (6). – P. 368-372.

7. Макаров, А.Г. Системный анализ термовязкоупругости полимерных нитей / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, М.А. Егорова, Е.К. Васильева, В.И. Вагнер // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 27. – № 1. – С. 96 – 100.

8. Макаров, А.Г. Кинетика релаксации напряжения и ползучести в ориентированных волокнах полипропилена / А.Г. Макаров, Г.Я. Слуцкер, Н.В. Переборова, В.В. Васильева, В.И. Вагнер // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 27. – № 1. – С. 101 – 105.

9. Макаров, А.Г. Прогнозирование и сравнительный анализ деформационных процессов полимерной текстильной пряжи / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, М.А. Егорова, Н.С. Зурахов, С.В. Киселев // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 28. – № 2. – С. 78 – 86.

10. Переборова, Н.В. Комплексное исследование механических свойств текстильных материалов и прогнозирование их деформационных процессов / Н.В. Переборова, И.М. Егоров, А.А. Козлов, Л.В. Оглуздина, В.В. Кондрашов // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 28. – № 2. – С. 87 – 98.

11. Макаров, А.Г. Детализация механизма релаксации напряжения в ориентированных волокнах полипропилена / А.Г. Макаров, Г.Я. Слуцкер, Н.В. Переборова, В.В. Васильева, В.И. Вагнер // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 30. – № 4. – С. 83 – 92.

12. Макаров, А.Г. Методология спектрального моделирования деформационно-релаксационных процессов полимерных материалов / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, М.А. Егорова, Д.С. Ледов, К.Н. Бусыгин, А.С. Коновалов // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2015. – т. 30. – № 4. – С. 103 – 108.

13. Макаров, А.Г. Компьютерное моделирование и прогнозирование деформационных свойств морских полимерных канатов / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, Е.К. Васильева // *Химические волокна*. – 2015. – № 1. – С. 52 – 57.

14. Makarov, A.G. Spectral analysis of relaxation properties of polymer yarns with an amorphous/crystalline structure / A.G. Makarov, A.V. Demidov, N.V. Pereborova, V.I. Vagner // *Fibre Chemistry*. – 2014. – v. 45 (5). – P. 304 – 307.

15. Makarov, A.G. Spectral analysis of the deformation properties of polymeric filaments with an amorphous-crystalline structure / A.G. Makarov, A.V. Demidov, N.V. Pereborova, V.I. Vagner // *Fibre Chemistry*. – 2014. – vol. 46. – № 1. – P. 59 – 62.

16. Макаров, А.Г. Вариант моделирования деформационных и релаксационных свойств текстильных материалов сложного строения / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Егорова, В.И. Вагнер // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2014. – № 3 (351). – С. 110 – 115.

17. Макаров, А.Г. Моделирование и прогнозирование вязкоупругих свойств текстильных материалов сложного строения / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Егорова, В.И. Вагнер // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2014. – № 6 (354). – С. 120 – 124.

18. Makarov, A.G. The basis of spectral-temporal analysis of relaxation and deformation properties of polymeric materials in textile and light industry / A.G. Makarov, N.V. Pereborova, V.I. Vagner, P.P. Rymkevich, A.S. Gorshkov // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2014. – т. 23. – № 1. – С. 24 – 29.

19. Переборова, Н.В. Моделирование сложных деформационно-восстановительных процессов полимерных материалов текстильной и легкой промышленности / Н.В. Переборова, М.А. Егорова, В.И. Вагнер, Е.К. Васильева, Ю.Д. Дружкина // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2014. – т. 23. – № 1. – С. 30 – 32.

20. Макаров, А.Г. Основы спектрально-временного анализа релаксационных и деформационных свойств полимерных материалов текстильной и легкой промышленности / А.Г.

Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, П.П. Рымкевич, А.С. Горшков // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2014. – т. 23. – № 1. – С. 19 – 23.

21. Макаров, А.Г. Компьютерное моделирование деформационных процессов текстильных материалов сложного строения / А.Г. Макаров, В.В. Максимов, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2014. – № 2. – т. 24. – С. 47 – 52.

22. Переборова, Н.В. Процессы обратной релаксации полимерных текстильных материалов / Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, Е.К. Васильева, Ю.Д. Дружкина, В.В. Максимов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2014. – № 2. – т. 24. – С. 53 – 55.

23. Переборова, Н.В. Моделирование деформационно-эластических свойств полиэфирных нитей различной степени крутки / Н.В. Переборова, М.А. Егорова, Т.А. Зурахова, В.И. Вагнер, А.С. Коновалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2014. – т. 26. – № 4. – С. 97 – 103.

24. Макаров, А.Г. Спектральный анализ деформационных свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения / А.Г. Макаров, А.В. Демидов, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер // Химические волокна. – 2014. – № 1. – С. 60 – 63.

25. Макаров, А.Г. Математическое моделирование релаксации и ползучести полимерных нитей медицинского назначения / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, Е.В. Васильева // Химические волокна. – 2014. – № 6. – С. 37 – 41.

26. Макаров, А.Г. Спектральный анализ релаксационных свойств полимерных нитей аморфно-кристаллического строения / А.Г. Макаров, А.В. Демидов, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер // Химические волокна. – 2013. – № 5. – С. 44 – 47.

27. Макаров, А.Г. Основы доверительного прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных материалов текстильной и легкой промышленности / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, П.П. Рымкевич, А.С. Горшков // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2013. – т. 22. – № 4. – С. 32 – 34.

28. Макаров, А.Г. Основы математического моделирования релаксации и ползучести полимерных материалов / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, П.П. Рымкевич, А.С. Горшков // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2013. – т. 21. – № 3. – С. 27 – 31.

29. Макаров, А.Г. Вариант спектра наследственно-вязкоупругой релаксации трикотажных эластомеров и образующих их полимерных нитей / А.Г. Макаров, Н.В. Переборова, В.И. Вагнер, С.Д. Кузьмин // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013. – № 2 (27). – С. 79 – 83.

30. Переборова, Н.В. Компьютерное моделирование деформационных свойств текстильных материалов сложного строения / Н.В. Переборова, М.А. Егорова, В.И. Вагнер, Е.К. Васильева // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2013. – т. 22. – № 4. – С. 35 – 37.

31. Переборова, Н.В. Исследование зависимости влияния степени крутки эластомерных нитей на их прочностные и деформационные свойства / Н.В. Переборова, Ю.Д. Дружкина, М.А. Макарова, А.В. Фомина // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2012. – № 1 (21). – С. 73 – 76.

32. Макаров, А.Г. Метод коррекции параметров математической модели релаксации полимеров по точкам экспериментальной диаграммы растяжения / Макаров А.Г., Горшков А.С., Рымкевич П.П., Переборова Н.В. // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2012. – № 2 (22). – С. 23 – 28.

33. Переборова, Н.В. Обращение интегральных ядер релаксации и ползучести полимерных материалов / Н.В. Переборова, М.А. Егорова, М.С. Серенко, Н.Е. Серова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. – № 3 (23). – С. 95 – 97.

34. Переборова, Н.В. Вариант математического моделирования вязкоупругости полимерных материалов / Н.В. Переборова, Р.Р. Ишмуратова, М.С. Серенко, Н.Е. Серова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2012. – № 4 (24). – С. 87 – 89.

35. Демидов, А.В. Прогнозирование сложных деформационных процессов полимерных материалов, применяемых в швейной, обувной и текстильной промышленности / А.В. Демидов, А.Н. Гребенкин, К.Г. Иванов, Н.В. Переборова // Дизайн. Материалы. Технологии. – 2011. – № 5 (20). – С. 19 – 21.

Прочие публикации

36. Переборова, Н.В. Сравнительный анализ деформационных свойств арамидных нитей специального назначения / Н.В. Переборова // Международный научно-практический семинар «Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки». Минск, 14 июля 2015 г. Сборник докладов. – С. 69 – 71.

37. Переборова, Н.В. Математическое моделирование и сравнительный анализ вязкоупругих процессов полимерных парашютных строп / Н.В. Переборова // Двадцатая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов. Сборник тезисов. СПб., 2015. – С. 192.

38. Переборова, Н.В. Системный анализ деформационных свойств арамидных текстильных материалов / Н.В. Переборова // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых. Сборник тезисов. СПб., СПГУТД, 2015. – С. 67 – 68.

39. Переборова, Н.В. Компьютерное прогнозирование термовязкоупругих процессов полимерных материалов / Н.В. Переборова // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых. Сборник тезисов. СПб., СПГУТД, 2014. – С. 252 – 253.

40. Переборова Н.В. Исследование и компьютерное прогнозирование деформационных процессов арамидных материалов / Н.В. Переборова // Девятнадцатая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов. Сборник тезисов. СПб., 2014. – С. 197.

41. Переборова Н.В. Деформационные свойства полимерных текстильных материалов, их моделирование и прогнозирование / Н.В. Переборова // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых. СПб., СПГУТД, 2013. – С. 117 – 118.

42. Переборова Н.В. Прогнозирование деформационно-восстановительных процессов полиамидных тканей технического назначения / Н.В. Переборова // Семнадцатая Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов. Сборник тезисов. СПб., 2012. – С. 160.

Свидетельства о государственной регистрации Программ для ЭВМ

43. Свидетельство № 2015614537. Расчетное прогнозирование процессов релаксации одноосно ориентированных полимеров / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 20.04.2015.

44. Свидетельство ЭВМ № 2015614538. Расчетное прогнозирование деформационных процессов одноосно ориентированных полимеров / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 20.04.2015.

45. Свидетельство № 2015614662. Расчетное прогнозирование процессов ползучести одноосно ориентированных полимеров / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 22.04.2015.

46. Свидетельство № 2014615845. Расчет характеристик ползучести текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 04.06.2014.

47. Свидетельство № 2014615846. Расчет характеристик релаксации текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 04.06.2014.

48. Свидетельство № 2014616902. Системный анализ деформационных свойств текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 08.07.2014.

49. Свидетельство № 2014616904. Системный анализ релаксационных свойств текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 08.07.2014.

50. Свидетельство № 2014616911. Системный анализ упругих свойств текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 08.07.2014.

51. Свидетельство № 2014617034. Системный анализ восстановительных свойств текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 09.07.2014.

52. Свидетельство № 2014617092. Системный анализ вязкоупругих свойств текстильных материалов сложного макростроения / Макаров А.Г., Переборова Н.В. и др. – зарегистр. 10.07.2014.

53. Свидетельство № 2013616664. Системный анализ релаксации и ползучести текстильных материалов / Переборова Н.В., Егорова М.А. и др. – зарегистр. 15.07.2013.

Подписано в печать 28.12.2015. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 1,0. Формат 60 × 84 1/16. Тираж 100 экз. Заказ № 186

Отпечатано в типографии СПбГУПТД
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, д.26