

На правах рукописи

Овсянников Дмитрий Александрович

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ПРОЦЕССОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ
ИХ ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

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

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2022

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

Научный руководитель: **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

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

Коновалов Александр Сергеевич, доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения", профессор кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

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

Защита диссертации состоится 20 сентября 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.07 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна" по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", <http://sutd.ru/>.

Автореферат разослан ___ августа 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.236.07
доктор экономических наук, профессор

Титова Марина Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. При организации производств текстильной и легкой промышленности приходится решать задачи создания новых материалов, отвечающим тем или иным заданным целям. Решение этих задач целесообразно проводить на этапе проектирования текстильных материалов заданной функциональности путем совершенствования их макроструктуры, проводимой на основе математического моделирования и цифрового прогнозирования эксплуатационных свойств указанных материалов.

Решаемые в диссертации задачи по цифровому моделированию макроструктур полимерных текстильных материалов для улучшения их эксплуатационных свойств неразрывно связаны с повышением конкурентоспособности этих материалов, что особенно актуально в период действия продолжающихся международных санкций.

В диссертации особое внимание уделялось всестороннему исследованию основных функциональных свойств полимерных текстильных материалов, а также численному прогнозированию их основополагающих эксплуатационных процессов, к которым, в первую очередь, относятся релаксационные, деформационные и восстановительные процессы. Именно моделирование и цифровое прогнозирование этих основных эксплуатационных процессов позволяет получить рекомендации в части проектирования и выпуска новых текстильных изделий заданной функциональности.

Макроструктура текстильных материалов может быть как упорядоченной, так и неупорядоченной, что также влияет в конечном итоге на их функциональные свойства. Производство текстильных материалов неупорядоченной макроструктуры, к которым относятся, например, нетканые материалы, является существенно более дешевым, чем производство текстильных материалов упорядоченной макроструктуры. Чем более упорядочена макроструктура полимерных текстильных материалов, тем дороже их производство. Однако функциональность и качество таких материалов тоже возрастает. Чтобы существенно не удорожать производство текстильных материалов за счет усложнения их макроструктуры и, в тоже время, добиться от них необходимой функциональности, и прибегают к цифровому моделированию и прогнозированию их эксплуатационных свойств.

Разработка методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов различной макроструктуры, а также прогнозирования их релаксационных, деформационных и восстановительных процессов различной сложности является актуальной задачей, так как их использование на стадии организации производства указанных материалов позволит улучшить функциональные и эксплуатационные свойства этих материалов, повысив конкурентоспособность продукции.

Степень разработанности темы исследования. Повышение конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности, особенно в период продолжающихся международных санкций, является важной задачей. Задача проведения качественной оценки функционально-эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности на стадии организации их производства является достаточно сложной, так как зачастую предполагает не исследование имеющихся образцов текстильных материалов, а имеет дело с цифровым прогнозированием функциональных свойств указанных материалов на основе математического моделирования их эксплуатационных процессов.

Инновационная идея проведения качественного анализа виртуальных образцов текстильных материалов путем использования информационных технологий и методик системного анализа принадлежит научной школе СПбГУПТД, возглавляемой профессором Переборовой Н.В.

Проведение такого анализа становится возможным благодаря установлению изоморфизма (взаимно-однозначного соответствия) между функциональными (качественными) характеристиками текстильных материалов и их эксплуатационными (количественными) свойствами, получаемых математическим моделированием и компьютерным прогнозированием деформационных процессов указанных материалов.

Проведением исследований в данном направлении повышения конкурентоспособности текстильной продукции на стадии организации ее производства в СПбГУПТД занимались также Демидов А.В., Макаров А.Г., Климова Н.С., Вагнер В.И., Егорова М.А.

Цель работы состоит в разработке методов цифрового моделирования макроструктур и эксплуатационных процессов текстильных материалов при организации их производства с целью повышения конкурентоспособности.

Основными **задачами** исследования являются:

- разработка методов цифрового моделирования и прогнозирования молекулярной структуры текстильных материалов различной функциональности;
- разработка математических моделей релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов;
- разработка методов цифрового прогнозирования релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов для различных режимов их эксплуатации, в частности, для процессов с циклическим чередованием нагрузок и разгрузений;
- разработка методов качественной оценки релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов в различных эксплуатационных режимах;
- разработка компьютерных алгоритмов и программ для проведения качественного анализа функциональных свойств текстильных материалов в различных эксплуатационных режимах.

Методология и методы исследования. В работе применяются методы организации производств текстильной промышленности, системного анализа свойств текстильных материалов, математического моделирования, цифрового прогнозирования и управления качеством текстильной продукции. В диссертации также широко используются численные методы, методы оптимизации и информатики, информационные технологии.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 05.02.22 – Организация производства (по отраслям) ВАК Минобрнауки РФ и соответствует пунктам:

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

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

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

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

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

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

Научная новизна работы. В диссертации для исследования эксплуатационных свойств текстильных материалов были разработаны:

- методы цифрового моделирования и прогнозирования молекулярной структуры текстильных материалов различной функциональности;

- математические модели релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов;

- методы цифрового прогнозирования релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов для различных режимов их эксплуатации, в частности, для процессов с циклическим чередованием нагрузок и разгрузок;

- методы качественной оценки релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов в различных эксплуатационных режимах;

- компьютерные алгоритмы и программы для проведения качественного анализа функциональных свойств текстильных материалов в различных эксплуатационных режимах.

Теоретическая и практическая значимость состоят в:

- разработке методов, позволяющих повышать конкурентоспособность текстильных материалов еще на стадии их проектирования и организации производства;

- разработке программного обеспечения для прогнозирования и проведения сравнительного анализа релаксационных, деформационных и восстановительных свойств текстильных материалов различного функционального назначения;

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

- использовании материалов диссертации в учебном процессе кафедры интеллектуальных систем и защиты информации СПбГУПТД для чтения лекций аспирантам и при проведении научно-исследовательской работы.

Положения, выносимые на защиту:

– разработанные новые математические модели релаксационных, деформационных и восстановительных процессов различной степени сложности для текстильных материалов различной функциональности, включая деформационно-восстановительные и деформационно-циклические процессы;

– цифровые методы прогнозирования релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов для различных режимов их эксплуатации;

- разработанный метод качественной оценки функциональности текстильных материалов и их эксплуатационных свойств;

- разработанные компьютерные алгоритмы и программы по проведению качественной оценки функциональности текстильных материалов и их эксплуатационных свойств.

Степень достоверности результатов. Методики проведения качественного анализа релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов были опробованы в ООО "СЕВЕРНЫЙ ТЕКСТИЛЬ" и подтвердили свою полную работоспособность. По результатам применения указанных методик были даны практические рекомендации по проектированию образцов текстильных материалов, обладающих требуемыми функциональными свойствами.

Апробация результатов исследования: результаты диссертационного исследования докладывались на Всероссийской конференции молодых ученых "Инновации молодежной науки" (Санкт-Петербург, 2021, 2022 гг.) и на Международной научно-технической конференции, посвященной инновационному развитию текстильной и легкой промышленности, Light Conf 2021 (Санкт-Петербург, 2021 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 работ, среди которых 8 статей в научных периодических изданиях из "Перечня ВАК" и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной литературы (225 наименований) и 2 приложений. Содержание диссертации изложено на 156 страницах машинописного текста, иллюстрировано 36 рисунками и содержит 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе приводится обзор литературных источников по вопросам, изучаемым в диссертации.

Текстильные материалы широко применяются во многих областях промышленности, в том числе, в судо-, авиа- и автомобилестроении, в медицине, в строительстве, в оборонной и военной промышленности.

Необходимость всестороннего исследования функциональных и эксплуатационных свойств текстильных материалов обоснована, прежде всего, проектированием новых и улучшением имеющихся изделий, содержащих эти материалы.

В главе 2 описаны технические характеристики выбранной репрезентативной группы полимерных текстильных материалов различного функционального назначения.

Технические характеристики выбранных образцов исследуемых полимерных текстильных материалов приведены в табл.1.

Таблица 1 - Технические характеристики полимерных текстильных материалов

Название	Линейная плотность, Текс	Разрывная деформация, %	Разрывное напряжение, ГПа	Изготовитель
Лавсан	92	11,2	0,85	ВНИИСВ, Тверь
Лавсан	26	23,9	0,49	"Химволокно", Курск
Нитрон	43	12,3	0,97	ВНИИСВ, Тверь
Капрон	98	12,6	0,98	"Клиноволокно", Клин
Капрон	167	15,1	0,75	ВНИИСВ, Тверь
Капрон	318	19,7	0,63	НИИТТ, Ярославль

В качестве объектов были выбраны наиболее часто встречающиеся в изделиях полимерные текстильные нити различных производителей.

В табл. 1 представлены данные заводов изготовителей этих нитей.

В основе математического моделирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов лежит аппроксимация обобщенной кривой модуля релаксации E_{et} нормированной функцией φ_{et} на основе нормированной функции арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ), являющейся интегральной функцией вероятностного распределения Коши

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

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

здесь: E_0 - модуль упругости; E_{∞} - асимптотический модуль вязкоупругости; $b_{n\varepsilon}$ - структурно-релаксационный параметр интенсивности; τ_{ε} - время релаксации, определяющее половину релаксационного процесса при деформации ε).

Аналогично, в основе математического моделирования процессов ползучести полимерных текстильных материалов лежит аппроксимация обобщенной кривой податливости $D_{\sigma t}$ нормированной функцией $\varphi_{\sigma t}$, также на основе нормированной функции НАЛ

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

$$\varphi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{b_{n\sigma}} \cdot \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} \right), \quad (4)$$

здесь: D_0 - начальная упругая податливость; D_{∞} - асимптотическая равновесная податливость; $b_{n\sigma}$ - структурно-деформационный параметр интенсивности; τ_{σ} - время запаздывания, определяющее половину процесса ползучести при напряжении σ).

Выбор в качестве основы для математического моделирования релаксационных процессов и процессов ползучести полимерных текстильных материалов функции НАЛ не случаен, т.к. эта функция, являясь элементарной, задает вероятностное распределение Коши, обладающее важным свойством аддитивности, то есть сумма вероятностных величин, распределенных по закону Коши, также распределена по этому закону.

Учитывая, что полимерные текстильные материалы состоят из нитей, а нити - из волокон, пользоваться законом Коши в случае исследования вероятностных характеристик - времен релаксации и времен запаздывания полимерных текстильных материалов очень удобно.

Еще одним достоинством распределения Коши является более медленная сходимость его интегральной функции распределения к своим асимптотическим значениям, что позволяет лучше, в отличие от нормального распределения, описывать кратковременные и длительные процессы релаксации и ползучести.

Ну и, наконец, аналитический вид функции НАЛ упрощает дифференциальные и интегральные преобразования с ней, в отличие от нормального распределения.

Во второй главе диссертации особое внимание уделено проверке адекватности разработанных математических моделей релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных процессов путем контрольной проверки расчетных значений модуля релаксации и податливости с данными краткосрочного эксперимента.

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

Расчетные характеристики релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2. - Расчетные характеристики релаксации и ползучести полимерных текстильных материалов

Название	Линейная плотность, Текс	E_0 , ГПа	E_∞ , ГПа	b_ε	D_0 , ГПа ⁻¹	D_∞ , ГПа ⁻¹	b_σ
Лавсан	26	9,2	6,5	0,13	0,072	0,15	0,19
Лавсан	92	9,8	4,1	0,11	0,071	0,24	0,18
Нитрон	43	7,1	2,2	0,32	0,13	0,44	0,34
Капрон	98	3,9	1,2	0,41	0,25	0,78	0,47
Капрон	167	2,4	1,5	0,33	0,41	0,87	0,32
Капрон	318	3,8	1,8	0,16	0,25	0,55	0,15

Еще одним достоинством разработанных математических моделей релаксационно-эксплуатационных (1), (2) и деформационно-эксплуатационных (3), (4) процессов полимерных текстильных материалов является содержание в этих моделях наименьшего из возможных числа параметров с физическим смыслом:

- E_0 , E_∞ - асимптотические модули релаксации:

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

- D_0 , D_∞ - асимптотические податливости:

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

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

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

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

$$W_{\varepsilon t} = \frac{1}{b_{\varepsilon}} \ln \frac{t}{\tau_{\varepsilon}} = \frac{1}{b_{\varepsilon}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_{\varepsilon}} \right) \right); \quad (7)$$

- деформационная функция временных сдвигов $f_{\sigma, \sigma} = \ln(t_1/\tau_{\sigma})$

(характеризующая сдвиги деформационных кривых до слияния с обобщенной деформационной кривой), содержащаяся в деформационном аргументе-функционале

$$W_{\sigma t} = \frac{1}{b_{\sigma}} \ln \frac{t}{\tau_{\sigma}} = \frac{1}{b_{\sigma}} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_{\sigma}} \right) \right). \quad (8)$$

Таким образом, во второй главе диссертации показано, что применение функции НАЛ в качестве основы для математической модели релаксационных процессов и процессов ползучести полимерных текстильных материалов, позволяет с достаточной точности моделировать вязкоупруго-пластические процессы указанных материалов.

Третья глава посвящена решению задачи по прогнозированию релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов любой степени сложности, когда (в отличие от главы 2) в релаксационно-эксплуатационных процессах деформация ε может являться переменной величиной, а в деформационно-эксплуатационных процессах переменной величиной может являться напряжение σ .

Прогнозирование релаксационно-эксплуатационных процессов различной степени сложности полимерных текстильных материалов осуществляется посредством определяющих уравнений Больцмана-Вольтерра

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_{\infty}) \cdot \int_0^t \varepsilon_{\theta} \cdot \varphi'_{\varepsilon, t-\theta} d\theta, \quad (9)$$

где в качестве интегрального ядра выбирается производная нормированной релаксационной функции $\varphi_{\varepsilon t}$ (2)

$$\varphi'_{\varepsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{b_{\varepsilon}} \cdot \frac{1}{1 + W_{\varepsilon t}^2} \cdot \frac{1}{t}. \quad (10)$$

Аналогично, прогнозирование деформационно-эксплуатационных процессов различной степени сложности полимерных текстильных материалов осуществляется посредством определяющих уравнений Больцмана-Вольтерра

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_{\infty} - D_0) \cdot \int_0^t \sigma_{\theta} \cdot \varphi'_{\sigma, t-\theta} d\theta, \quad (11)$$

где в качестве интегрального ядра выбирается производная нормированной деформационной функции $\varphi_{\sigma t}$ (4)

$$\varphi'_{\sigma t} = \frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{b_{\sigma}} \cdot \frac{1}{1 + W_{\sigma t}^2} \cdot \frac{1}{t}. \quad (12)$$

В главе 3 также разработаны методики повышения точности цифрового прогнозирования релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов, основанные на оптимизации методов численного расчета определяющих интегралов (9), (11), использующих неравномерное разбиение шкалы интегрирования, зависящее от специфичности рассматриваемых процессов.

Полученные в главе 3 методы численного расчета интегралов (9), (11) опробованы на различных эксплуатационных процессах полимерных текстильных материалов.

Отмечено, что при этом расчетные значения деформации и напряжения имеют достаточно малые отклонения от соответствующих экспериментальных значений во всех рассмотренных случаях.

В **четвертой** главе рассматриваются компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ по математическому моделированию, численному прогнозированию и качественной оценке эксплуатационных процессов и функциональных свойств полимерных текстильных материалов.

В частности, в четвертой главе разработаны алгоритмы и программы для ЭВМ по:

- расчету параметров-характеристик релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов;
- расчету параметров-характеристик деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов;
- цифровому прогнозированию релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов;
- цифровому прогнозированию восстановительно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов.

Разработанное программное обеспечение может быть объединено в единый программный комплекс по математическому моделированию, цифровому прогнозированию, системному анализу и качественной оценке эксплуатационных процессов и функциональных свойств полимерных текстильных материалов.

Разработанное программное обеспечение носит универсальный характер и может применяться к широкому кругу полимерных текстильных материалов различного компонентного состава.

В **пятой** главе рассмотрено применение методов моделирования, прогнозирования и оценки эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов на стадии организации их производства для повышения конкурентоспособности.

Оценка эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов осуществляется на основе разработанных методик системного и сравнительного анализа.



а



б



в

Рисунок 1 - Программы для ЭВМ по проведению системного анализа
а - релаксационно-эксплуатационных

б - деформационно-эксплуатационных

в - восстановительно-эксплуатационных

свойств полимерных текстильных материалов двойного, технического и медицинского назначения

Указанные методики получили практическую реализацию в виде программного продукта (рис.1) и рекомендуются к использованию на стадиях проектирования новых полимерных текстильных материалов и на стадии организации их производства с целью производства новых изделий, обладающих определенными функциональными и эксплуатационными характеристиками, а также с повышенной конкурентоспособностью.

Проведенный системный и сравнительный анализ функциональных и эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов помог определить влияние компонентного состава и линейной плотности на изучаемые свойства этих материалов.

Например, при сравнении образцов полимерных текстильных материалов различной линейной плотности, но одного компонентного состава, выявлено различие в структурных коэффициентах b_ε и b_σ . Здесь рост плотности ведет к снижению интенсивностей эксплуатационных процессов.

Таким образом, методы моделирования, прогнозирования и оценки релаксационно-эксплуатационных и деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов являются инструментом повышения конкурентоспособности указанных материалов и рекомендуются к применению на стадии проектирования и организации производства этих материалов.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные математические модели релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов являются инструментом для последующего выявления основных функциональных свойств указанных материалов.

2. Разработанные методы цифрового моделирования и прогнозирования молекулярной структуры текстильных материалов различной функциональности являются одним из инструментов для проведения качественного анализа эксплуатационных свойств указанных материалов.

3. Предложенные методики цифрового прогнозирования различных эксплуатационных режимов текстильных материалов оптимизированы под эти режимы.

4. Предложенные методы качественной оценки релаксационных, деформационных и восстановительных процессов текстильных материалов в различных эксплуатационных режимах являются одним из инструментов повышения конкурентоспособности указанных материалов.

5. Разработанные методы определения параметров и прогнозирования различных эксплуатационных режимов текстильных материалов позволяют получать рекомендации по проектированию текстильных материалов с целью улучшения их качества и повышения конкурентоспособности.

6. На основе методик определения параметров математических моделей и прогнозирования эксплуатационных процессов текстильных материалов разработаны алгоритмы и программы для ЭВМ, позволяющие получать рекомендации по улучшению функциональных свойств указанных материалов с целью повышения их конкурентоспособности.

7. Разработанные методы математического моделирования и цифрового прогнозирования эксплуатационных свойств текстильных материалов являются универсальными и могут применяться к широкому кругу полимерных текстильных материалов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

**Статьи в рецензируемых журналах, входящих в "Перечень ВАК РФ"
(по специальности 05.02.22 - Организация производства (по отраслям)):**

1. 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.

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

2. Вагнер В.И., Козлов А.А., Литвинов А.М., Овсянников Д.А., Чалова Е.И. Системный анализ вязкоупруго-пластических свойств морских полимерных канатов// Химические волокна, 2021, № 3, с. 69-72.

англ. версия: Wagner V. I., Kozlov A. A., Ovsyannikov D.A., Chalova E. I.. Systematic Analysis of Viscoelastic-Plastic Properties of Marine Polymer Ropes//Fibre Chemistry, Vol. 53, No. 3, pp. 218 - 221. (Web of Science, Scopus).

3. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Овсянников Д.А., Волкова И.Н. Оптимизация выбора математической модели для прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов// Химические волокна, 2021, № 4, с. 11-13.

англ. версия: Pereborova, N.V., Litvinov, A.M., Ovsyannikov, D.A. Volkova, I.N. Optimization of Selection of Mathematical Model for Predicting Deformation Processes of Polymer Materils//Fibre Chemistry, 2022, Vol. 54, No. 4, p. 232-234. (Web of Science, Scopus).

4. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Овсянников Д.А. Цифровое прогнозирование эксплуатационных процессов полиамидных тканей для куполов парашютов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 5-10.

5. Макаров А.Г., Бусыгин К.Н., Овсянников Д.А. Моделирование эксплуатационных свойств полиамидных тканей для куполов парашютов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 11-18.

6. Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Определение энергии активации процессов релаксации и ползучести полимерных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 89-93.

7. Козлов А.А., Киселев С.В., Овсянников Д.А. Математическое моделирование механических процессов полимерных текстильных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 128-133.

8. Литвинов А.М., Овсянников Д.А., Макаров А.Г. Системный анализ процессов ползучести швейных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 94-98.

Прочие публикации

9. Макаров А.Г., Овсянников Д.А., Фалько Н.С., Редькин Д.О., Сешко Е.А. Компьютерное моделирование функциональных процессов полимерных текстильных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 2, с. 33-42.

10. Климова Н.С., Вагнер В.И., Овсянников Д.А., Литвинов А.М. Компьютерное моделирование функциональных процессов текстильных материалов//Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 1, с. 140-147.
11. 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.
12. Козлов А.А., Киселев С.В., Овсянников Д.А. Моделирование механических процессов полимерных текстильных материалов //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 2, с. 98-103.
13. Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Системный анализ энергии активации процессов релаксации и ползучести полимерных материалов //Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 2, с. 104-108.
14. Овсянников Д.А., Макаров А.Г. Критерии достоверности прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием "Инновации молодежной науки", 2022, с. 11-13.
15. Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Системный анализ деформационных свойств текстильных материалов// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием "Инновации молодежной науки", 2022, с. 23-24.
16. Овсянников Д.А., Макаров А.Г. Моделирование деформационных свойств арамидных шнуров специального назначения// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием "Инновации молодежной науки", 2022, с. 40-41.
17. Макаров А.Г., Овсянников Д.А. Исследование деформационных процессов арамидных шнуров специального назначения// Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием "Инновации молодежной науки", 2022, с. 50-52.
18. Макаров А.Г., Демидов А.В., Буряк Е.А., Овсянников Д.А. Системный анализ релаксационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов двойного, технического и медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022619353 от 20.05.2022.
19. Макаров А.Г., Демидов А.В., Буряк Е.А., Овсянников Д.А. Системный анализ деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов двойного, технического и медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618702 от 13.05.2022.
20. Макаров А.Г., Демидов А.В., Буряк Е.А., Овсянников Д.А. Системный анализ восстановительно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов двойного, технического и медицинского назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618910 от 18.05.2022.

Оригинал подготовлен автором
Подписано в печать 29.06.2022. Печать трафаретная
Усл. печ. л. 0,9. Формат 60 x 84 1/16. Тираж 100 экз. Заказ 318.
Отпечатано в типографии СПбГУПТД
121028, г. Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26