

На правах рукописи

Козлов Александр Александрович

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АРАМИДНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА СТАДИИ ОРГАНИЗАЦИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА**

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

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2021

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

Степашкина Анна Сергеевна,

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

Ведущая организация:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромской государственный университет"

Защита диссертации состоится 21 декабря 2021 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, зал заседаний Ученого совета - ауд. 437.

Текст автореферата размещен на сайте СПбГУПТД: <http://sutd.ru/>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://sutd.ru/>

Автореферат разослан ___ ноября 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.236.07 /
доктор технических наук, профессор

Титова Марина Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы работы обосновывается необходимостью прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов, находящихся в большом применении в различных отраслях промышленности, на стадии организации производства с целью улучшения их качества и повышения конкурентоспособности. Прогнозирование эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов должно производиться цифровыми компьютерными методами в интервалах действия неразрушающих эксплуатационных нагрузок и деформаций. Указанное прогнозирование эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов необходимо осуществлять на основе математического моделирования эксплуатационных процессов.

При разработке цифровых методов прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов и соответствующих программ для ЭВМ следует учитывать особенности арамидных материалов, которые влияют на разрабатываемые математические модели их эксплуатационных свойств. С этой целью при разработке соответствующих математических моделей эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов необходимо учитывать и данные эксперимента в простых режимах эксплуатации арамидных текстильных изделий.

На прогнозируемые эксплуатационные свойства арамидных текстильных материалов могут оказывать влияние разные факторы, например, изменение температуры, изменение влажности, степень солености воды и др.

Для наиболее достоверного прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов необходимо, чтобы соответствующие разработанные математические модели адекватно описывали изучаемые эксплуатационные процессы этих материалов. Особое значение при прогнозировании эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов следует уделять и внешним факторам, влияющим на условия эксплуатации этих материалов.

Наличие большого числа текстильных изделий, изготовленных из арамидных нитей, обосновывает разработку новых, более точных математических моделей, описывающих их эксплуатационные свойства.

Разработка новых цифровых методов прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов позволяет повысить степень достоверности такого прогнозирования, что, в свою очередь, позитивно сказывается на рекомендациях по проектированию новых арамидных изделий, которые должны обладать комплексом заданных эксплуатационных свойств.

Работа выполнялась в рамках базовой части государственного задания министерства науки и высшего образования Российской Федерации 2020 - 2022 гг. № FSEZ-2020-0005 по теме: "Разработка методов математического моделирования и качественного анализа вязкоупруго-пластических свойств полимерных текстильных материалов двойного, технического и медицинского назначения с целью проектирования из них новых конкурентоспособных изделий с улучшенными эксплуатационными и функциональными характеристиками".

Степень разработанности темы исследования. Методы математического моделирования, цифрового прогнозирования и качественной оценки в эксплуатационных свойствах арамидных текстильных материалов необходимо разрабатывать на стадии проектирования и организации производства этих материалов. Это, в значительной степени, способствует улучшению их качественных характеристик и повышению конкурентоспособности производимой продукции. Математическое моделирование, цифровое прогнозирование и качественная оценка эксплуатационных

свойств арамидных текстильных материалов - одно из направлений, развиваемых в научной школе "Разработка критериев и методов качественной оценки функциональных и эксплуатационных свойств материалов текстильной и легкой промышленности", возглавляемой научным руководителем - проф. Переборовой Н.В. Указанная научная школа получила высокую оценку со стороны Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга и была внесена в реестр научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга.

Большое число арамидных текстильных материалов и изготавливаемых из них изделий доказывает необходимость разработки новых, более точных математических моделей эксплуатационных свойств этих материалов, а также новых методов цифрового прогнозирования их свойств. В силу сложной макроструктуры арамидных текстильных материалов может так оказаться, что некоторые математические модели, с достаточной степенью точности, описывающие эксплуатационные свойства одних арамидных материалов, могут совсем не подходить для моделирования аналогичных свойств других арамидных материалов.

Цель работы состоит в разработке цифровых методов прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов на стадии организации их производства.

Основными **задачами** исследования являются:

- разработка математической модели прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- разработка математической модели прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- разработка цифровых методов прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- разработка цифровых методов прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- разработка компьютерных алгоритмов и программ ЭВМ для прогнозирования эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов;
- проведение системного и сравнительного анализа эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов.

Методы исследования. В диссертации используются методы механики полимеров, математические методы (интегральные уравнения, уравнения математической физики, численные методы), а также методы вычислительной математики и информатики.

Соответствие диссертационной работы Паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности 05.02.22 – Организация производства (по отраслям) ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и соответствует следующим его 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 состоит в разработке:

- математической модели прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- математической модели прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- численного метода прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- численного метода прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- компьютерного алгоритма и программы ЭВМ для прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов;
- компьютерного алгоритма и программы ЭВМ для прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- методов системного и сравнительного анализа эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что:

- были разработаны новые методы для повышения конкурентоспособности отечественных арамидных текстильных материалов при их проектировании и организации производства;
- был разработан универсальный комплекс программ для ЭВМ для цифрового прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов, позволяющий проводить их системный и сравнительный анализ;
- были даны практические рекомендации по проектированию изделий из арамидных текстильных материалов с заданными эксплуатационными свойствами.

Положения, выносимые на защиту:

- математические модели релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов;
- методы численного прогнозирования релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов в различных режимах их эксплуатации;
- методы повышения точности численного прогнозирования релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов, в зависимости от режимов их эксплуатации;
- разработанный программный комплекс для цифрового прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов, служащий инструментом для проведения качественной оценки этих свойств.

Степень достоверности результатов. Методы математического моделирования, компьютерного прогнозирования и качественной оценки эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов были внедрены в ООО "СЕВЕРНЫЙ ТЕКСТИЛЬ", где подтвердили свою работоспособность. По результатам применения указанных методов получены практические рекомендации по проектированию арамидных текстильных материалов с заданными эксплуатационными свойствами.

Апробация результатов работы. Результаты работы докладывались на научных конференциях: Международной научной конференции "Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах" (Санкт-Петербург, 2020), Международном Косыгинском форуме - 2019 "Современные задачи инженерных наук" (Москва, 2019), Санкт-Петербургской ассамблеи молодых ученых и специалистов Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга

(Санкт-Петербург, 2016 - 2020); Всероссийской научной конференции молодых ученых "Инновации молодежной науки" (Санкт-Петербург, 2015 - 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 69 печатных работ, среди которых 12 статей в рецензируемых журналах из "Перечня ВАК", 27 свидетельств о государственной регистрации программ в Российском агентстве по патентам и товарным знакам.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы (255 наименований) и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 131 странице машинописного текста, иллюстрировано 37 рисунками и содержит 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводится актуальность темы диссертации, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** дан обзор литературных источников по теме диссертации. Приведены известные методы исследования физико-механических свойств полимерных текстильных материалов (Работнов Ю.Н., Колтунов М.А., Ржаницин А.Р.), методы моделирования и прогнозирования этих свойств (Николаев С.Д., Кукин Г.Н., Щербаков В.П., Соловьев А.Н.). Приведены общие концепции математического моделирования физико-механических свойств полимерных материалов (Вольтерра В., Больцман С., Лаплас П., Вейерштрасс К., Максвелл Дж.).

Во **второй главе** приведены технические характеристики исследуемых арамидных текстильных материалов, а также информация о проведении экспериментальных исследований с ними.

В основе разработанных математических моделей релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов - основополагающих эксплуатационных процессов - лежит аппроксимация экспериментальных релаксационных и деформационных кривых функцией нормированный арктангенс логарифма (НАЛ), которая имеет много общего с интегральной функцией нормального распределения - интегралом вероятности (ИВ), но отличается от него аналитической формой записи, заметно упрощающей интегро-дифференциальные преобразования.

Аппроксимирующая функция НАЛ имеет вид

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

для релаксационного процесса и

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

для деформационного процесса.

При этом, для математического моделирования применяются формулы

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

в случае релаксационного процесса и

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \cdot \varphi_{\sigma t} - \quad (4)$$

в случае деформационного процесса.

Здесь введены следующие обозначения: ε - деформация, σ - напряжение, t - время, $1/b_{n\varepsilon}$ - интенсивность релаксационного процесса, $1/b_{n\sigma}$ - интенсивность деформационного процесса, τ_ε - среднее релаксационное время, τ_σ - среднее деформационное время, $E_{\varepsilon t} = \sigma/\varepsilon$ - модуль релаксации, E_0 - начальный модуль, E_∞ -

пределный модуль, $D_{\sigma t} = \varepsilon/\sigma$ - податливость, D_0 - начальная податливость, D_{∞} - предельная податливость.

В диссертации исследовались арамидные текстильные материалы только российского и белорусского производства (Арселон), что обусловлено решением важной задачи отечественной экономики - повышения конкурентоспособности изучаемых материалов. Компонентный состав и производители исследуемых арамидных текстильных материалов приведены в табл. 1, а их технические характеристики - в табл.2.

Таблица 1 - Компонентный состав арамидных текстильных материалов

Марка	Компонентный состав	Производитель
Русар	гетероциклический парасополиамид	ОАО Каменскхимволокно
Терлон	полипарафенилентерефтамид	ВНИИПВ
Армос	ароматический парасополиамид	ОАО Тверьхимволокно
СВМ	ароматический сополиамид	ВНИИПВ, ОАО Тверьхимволокно, ОАО Каменскхимволокно
Арселон	полипарафениленоксидиазол	Светлогорское ПО Химволокно

Таблица 2 - Технические характеристики арамидных текстильных материалов

Материал	Линейная плотность, Тгкс	Разрывная деформация, %	Разрывное напряжение, ГПа
Русар	59	3,2	3,4
Терлон	58	2,8	2,9
Армос	47	3,0	3,1
СВМ	29	2,4	3,2
Арселон	34	2,7	3,0

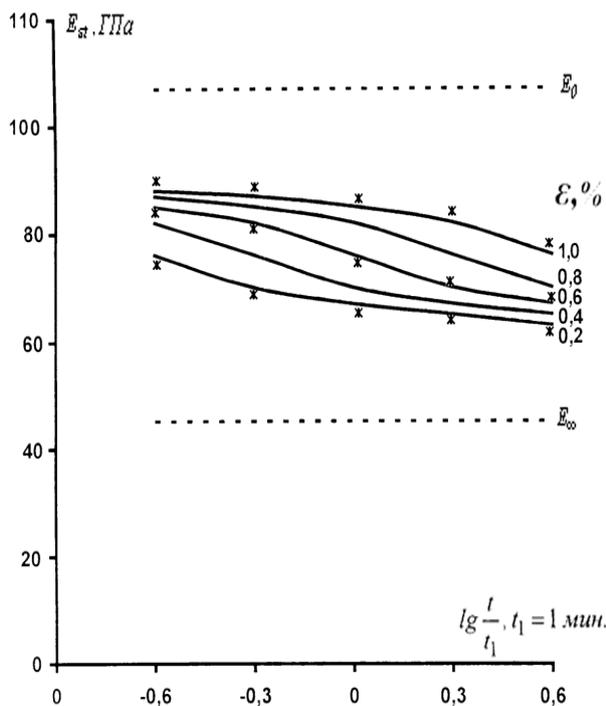


Рисунок 1 - Релаксационные кривые нити СВМ (линии - эксперимент, * - прогноз)

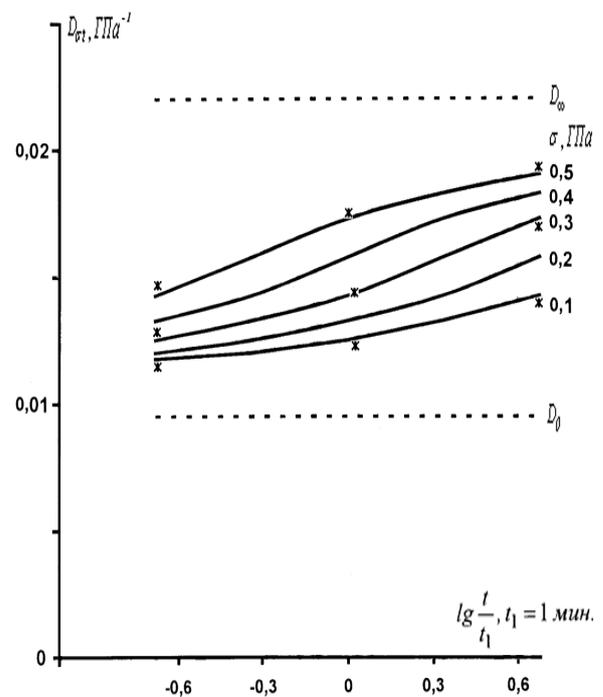


Рисунок 2 - Деформационные кривые нити СВМ (линии - эксперимент, * - прогноз)

На рис.1 и рис.2 приведены релаксационные (рис.1 - модуль релаксации) и деформационные (рис.2 - податливость) кривые нити СВМ.

В третьей главе разрабатываются цифровые методы прогнозирования релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов на основе уравнения Больцмана-Вольтерра

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \varphi'_{\varepsilon, t-\theta} d\theta - \quad (5)$$

для релаксационного процесса и

$$\varepsilon_t = D_0 \sigma_t + (D_\infty - D_0) \cdot \int_0^t \sigma_\theta \cdot \varphi'_{\sigma, t-\theta} d\theta - \quad (6)$$

для деформационного процесса.

Здесь интегральные ядра

$$\varphi'_{\varepsilon t} = \frac{\partial \varphi_{\varepsilon t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{b_{n\varepsilon}} \cdot \frac{1}{1+W_{\varepsilon t}^2} \cdot \frac{1}{t}, \quad (7)$$

$$\varphi'_{\sigma t} = \frac{\partial \varphi_{\sigma t}}{\partial t} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{b_{n\sigma}} \cdot \frac{1}{1+W_{\sigma t}^2} \cdot \frac{1}{t} - \quad (8)$$

представляют собой производные аппроксимирующей функции НАЛ (1), (2), соответственно, для релаксационного (7) и деформационного (8) процессов.

В главе рассмотрены также восстановительные процессы арамидных текстильных материалов. Пример восстановительного процесса нити СВМ приведен на рис. 3.

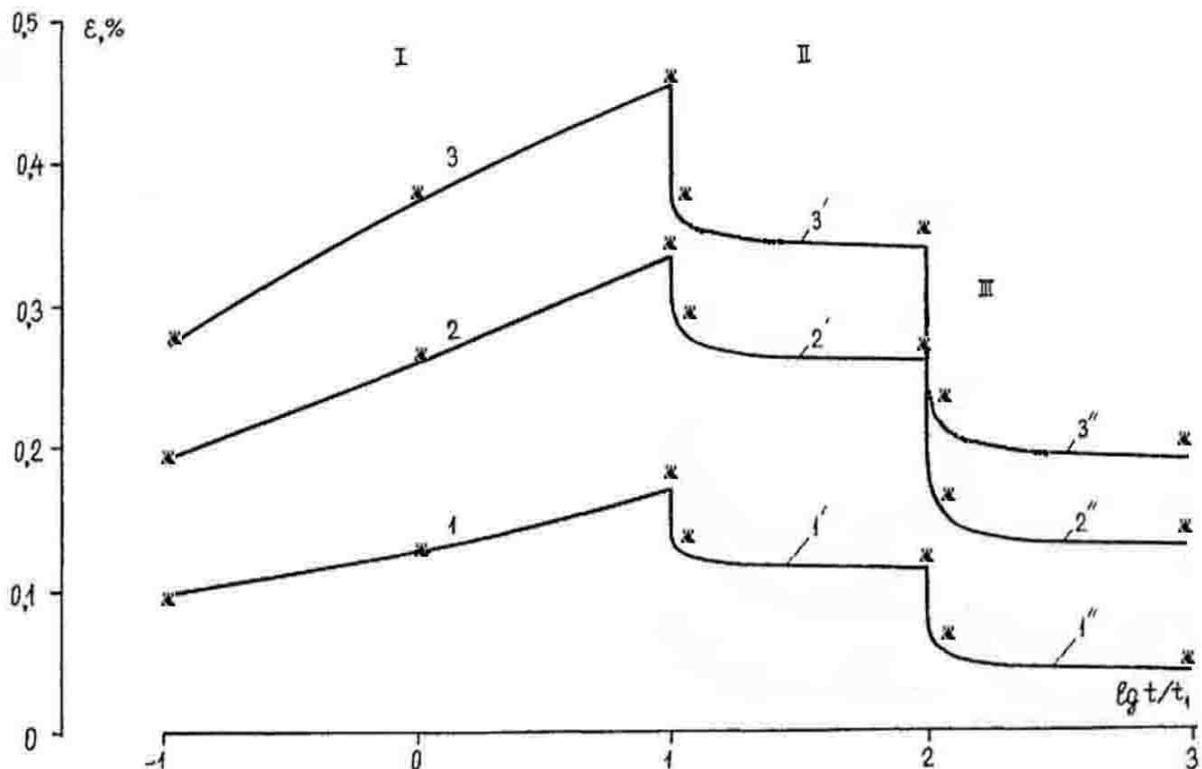


Рисунок 3 - Восстановительный процесс нити СВМ. I - деформационный процесс, II - восстановительный процесс после снятия половинной нагрузки, III - восстановительный процесс после снятия полной нагрузки (значения напряжений: 100 МПа (1), 200 МПа (2), 300 МПа (3); 50 МПа (1'), 100 МПа (2'); 150 МПа (3'); 0 МПа (1''), 0 МПа (2''), 0 МПа (3'')); $t_1 = 1$ мин., "звездочки" - расчетные значения)

В четвертой главе приведены компьютерные алгоритмы и, разработанные на их основе, программы для ЭВМ по цифровому прогнозированию эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов, применение которых позволяет получить рекомендации по проектированию арамидных текстильных изделий, обладающих заданными функциональными характеристиками, что, в свою очередь повышает конкурентоспособность проектируемых арамидных изделий.

На рис.3 представлены некоторые свидетельства на программы для ЭВМ по прогнозированию эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов.



Рисунок 3 - Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ по прогнозированию эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов

В пятой главе рассматривается применение разработанных цифровых методов прогнозирования эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов для проведения их качественной оценки и системного анализа с целью выработки рекомендаций по проектированию указанных материалов и изделий на их основе с заданными функциональными свойствами.

На рис.4 представлены некоторые свидетельства на программы для ЭВМ по качественной оценке эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов.



Рисунок 4 - Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ по качественной оценке эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов

На рис.5 представлены некоторые свидетельства на программы для ЭВМ по системному анализу эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов.



Рисунок 5 - Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ по системному анализу эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов

Проведенный качественный анализ эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов выявил влияние компонентного состава, линейной плотности, геометрической структуры и других факторов на их эксплуатационные свойства.

Методы цифрового прогнозирования эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов находят применение как в научных исследованиях, так и в учебных целях: теоретические результаты включены в лекционные курсы, а методы и программное обеспечение - в лабораторные практикумы для студентов и аспирантов.

Применение разработанных методов на практике заметно упрощается благодаря компьютеризации вычислений с помощью соответствующего программного обеспечения. Объединение программ в единый комплекс программ определяет их универсальность и возможность параллельного использования при прогнозировании эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная математическая модель релаксационных процессов арамидных текстильных материалов служит основой для цифрового описания как релаксационных процессов, так и процессов обратной релаксации этих материалов.

2. Разработанная математическая модель деформационных процессов арамидных текстильных материалов служит основой для цифрового описания как деформационных процессов, так и восстановительных процессов в различных режимах чередования нагрузки.

3. Разработанные численные методы прогнозирования релаксационных процессов арамидных текстильных материалов в различных временных режимах являются основой для проведения качественной оценки и системного анализа релаксационно-эксплуатационных свойств этих материалов.

4. Разработанные численные методы прогнозирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов в различных временных режимах являются основой для проведения качественной оценки и системного анализа деформационно-эксплуатационных и восстановительных свойств этих материалов.

5. Разработанные компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ по цифровому прогнозированию релаксационных и деформационных процессов арамидных текстильных материалов в различных временных режимах позволяют прогнозировать функциональные свойства этих материалов с высокой степенью достоверности.

6. Разработанные компьютерные алгоритмы и программы для ЭВМ по качественной оценке и системному анализу эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов являются практическим аппаратом для получения рекомендаций по проектированию новых арамидных текстильных материалов с улучшенными функциональными свойствами.

7. Разработанные в диссертации методы моделирования, прогнозирования и качественной оценки эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов являются универсальными и могут применяться к большой группе полимерных текстильных изделий.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах
Статьи в рецензируемых журналах, входящих в "Перечень ВАК..."**

1. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М., Козлов А.А., Шванкин А.М., Лёдов Д.С. Компьютерное моделирование деформационных свойств арамидных материалов сложного строения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2016. № 4. С. 23-31.

2. Козлов А.А., Игумнова А.Л., Евдокимов В.В., Кондрашов В.В., Коновалов А.С., Максимов В.В. Прогнозирование деформационных процессов технических тканей защитного назначения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2016. № 2. С. 10-17.

3. Переборова Н.В., Шванкин А.М., Козлов А.А. Методы моделирования вязкоупругости полимерных волокнистых материалов сложного строения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. - 2017 - т. 29, № 1, с. 51 - 59.

4. Егорова М.А., Переборова Н.В., Кобякова Ю.В., Козлов А.А., Зурахов В.С. Методы системного анализа вязкоупруго-пластических свойств морских полимерных канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. - 2017 - т. 31, № 3, с. 110 - 119.

5. Васильева Е.К., Егоров И.М., Козлов А.А., Зурахов Н.С. Методы математического моделирования при исследовании релаксационных и деформационных процессов полиамидных тканей для куполов парашютов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. - 2017. - № 3. - С. 32-41.

6. Makarov A.G., Pereborova N.V., Kozlov A.A., Shvankin A.M. Computer-Assisted Prediction and Qualitative Analysis for Polymer Parachute Cords// Fibre Chemistry, 2018, Vol. 50, No. 3, p. 239-242.

7. Pereborova N.V., Makarov A.G., Kozlov A.A., Vasil'eva E.K. Development of Integral Optimality Criteria for Mathematical Modeling of Relaxation/Recovery Processes in Polymer Textile Materials//Fibre Chemistry, 2018, vol. 50, № 4, p. 306-309.

8. Переборова Н.В., Макаров А.Г., Егорова М.А., Козлов А.А., Коновалов А.С. Методы моделирования и сравнительного анализа усадки и деформационно-восстановительных свойств арамидных текстильных материалов//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018, № 3 (375), с.253-257.

9. Макаров А.Г., Максимов В.В., Коновалов А.С., Козлов А.А., Вагнер В.И., Васильева Е.К. Компьютерное моделирование и качественный анализ деформационно-релаксационных свойств полимерных материалов для парашютостроения//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2019, № 5 (383), с. 248-253

10. Pereborova N.V., Makarov A.G., Egorova M.A., Kozlov A.A. Mathematical Modeling and Comparative Analysis of Deformation/Recovery Properties and Shrinkage of Aramid Textile Materials//Fibre Chemistry, 2019, Vol. 50, № 5, p. 468-472.

11. Makarov A.G., Pereborova N.V., Buryak E.A., Kozlov A.A. Mathematical Modeling and Methods of Determination of Functional-Use Relaxation-Recovery Properties of Polymer Textile Materials // Fibre Chemistry, 2020, Vol. 52, № 3, pp. 135-140.

12. Makarov, N.V. Pereborova, A.A. Kozlov, E.A. Buryak. Mathematical Models and Methods for Determining Deformation-Performance Properties of Technical Polymer Textile Materials// Fibre Chemistry, 2021, Vol. 52, № 4, pp. 233-238.

Прочие публикации

13. Шванкин А.М., Егоров И.М., Егорова М.А., Козлов А.А. Моделирование и исследование физико-механических свойств арамидных материалов//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 32. № 2. С. 10-18.

14. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М., Козлов А.А., Вагнер В.И. Методология компьютерного моделирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 35, № 1. С. 5-15.

15. Переборова Н.В., Егорова М.А., Киселев С.В., Козлов А.А., Егоров И.М. Изучение деформационных свойств арамидных материалов на основе системного анализа вязкоупругости//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. Т. 36. № 2. С. 20-29.

16. Переборова Н.В., Егорова М.А., Егоров И.М., Васильева Е.К., Козлов А.А. Организация производства арамидных текстильных материалов с учетом их усадочных и восстановительных свойств//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2018. Т. 39. № 1. С. 100-109.

17. 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.

18. 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.

19. Киселев С.В., Козлов А.А., Макаров А.Г. Повышение достоверности математического моделирования релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология, 2021, № 2, с. 73-83.

20. Егорова М.А., Козлов А.А., Литвинов А.М., Зурахов В.С. Математическое моделирование деформационных процессов текстильных полимерных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 1, с. 74-83.

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

22. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Киселев С.В., Козлов А.А. Компьютерное прогнозирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 1, с. 89-100.

23. Киселев С.В., Вагнер В.И., Буряк Е.А., Козлов А.А. Варианты математического моделирования и компьютерного прогнозирования вязкоупругости полимерных текстильных материалов технического назначения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 2, с. 122-132

24. 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.

25. Козлов А.А., Воронина О.С., Валуев К.В., Фролков Н.А., Агеева Е.А. Методы математического моделирования деформационных процессов арамидных текстильных материалов //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2021. - № 2, с. 24-32.

26. 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.

27. Переборова Н.В., Козлов А.А. Разработка критериев достоверности прогнозирования деформационных и релаксационных процессов текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2016. С. 5 - 6.

28. Козлов А.А. Исследование деформационных свойств арамидных шнуров специального назначения//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2016. - С. 12 - 13.

29. Переборова Н.В., Козлов А.А. Разработка критериев достоверности прогнозирования деформационных и релаксационных процессов текстильных материалов //Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб., СПбГУПТД, 2017. С.5-6.

30. Козлов А.А., Переборова Н.В. Математическое моделирование физико-механических свойств полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2018. С. 19-20.

31. Козлов А.А., Переборова Н.В. Компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2018. С. 20-21.

32. Козлов А.А., Переборова Н.В. Критерии достоверности математического моделирования и компьютерного прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2018. С. 21-22.

33. Козлов А.А. Методы системного анализа деформационных процессов текстильных шнуров технического назначения//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2019. С. 97.

34. Козлов А.А. Разработка методики исследования деформационных процессов арамидных шнуров специального назначения//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых. СПб.: СПбГУПТД, 2019. С. 98.

35. Переборова Н.В., Егорова М.А., Козлов А.А. Применение методов системного анализа релаксационных процессов текстильных эластомеров для качественной оценки их функциональных свойств// Международный Косыгинский форум - 2019 "Современные задачи инженерных наук", РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. С. 144-147.

36. Козлов А.А. Разработка методов определения и оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2020, с. 16-17.

37. Козлов А.А. Компьютерное прогнозирование релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов//Инновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2020, с. 17-18.

38. Козлов А.А. Компьютерное моделирование деформационно-релаксационных свойств полимерных материалов //Иновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2020, с. 77.

39. Козлов А.А. Моделирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Иновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2021, с. 5-6.

40. Козлов А.А. Исследование деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Иновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2021, с. 6-7.

41. Козлов А.А. Разработка математических моделей деформационных свойств термостойких арамидных материалов //Иновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2021, с. 18-20.

42. Козлов А.А. Разработка математических моделей деформационных свойств термостойких арамидных материалов //Иновации молодежной науки. Всероссийская научная конференция молодых ученых, 2021, с. 18-20.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

43. Демидов А.В., Макаров А.Г., Переборова Н.В., Шванкин А.М., Козлов А.А. Прогнозирование деформационных процессов огнестойких арамидных материалов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661267 от 05.10.2016 г.

44. Персборова 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 г.

45. 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

46. Переборова Н.В., Козлов А.А., Егорова М.А., Егоров И.М. Прогнозирование деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612702 от 22.02.2018.

47. Переборова Н.В., Козлов А.А., Егорова М.А., Егоров И.М. Проведение сравнительного анализа деформационно-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612705 от 22.02.2018.

48. Козлов А.А., Переборова Н.В., Буряк Е.А., Егоров И.М. Прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616068 от 08.06.2020.

49. Козлов А.А., Переборова Н.В., Буряк Е.А., Егоров И.М. Прогнозирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615887 от 03.06.2020.

50. Козлов А.А., Переборова Н.В., Буряк Е.А., Егоров И.М. Прогнозирование восстановительных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615788 от 02.06.2020.

51. Козлов А.А., Переборова Н.В., Киселев С.В., Егоров И.М. Прогнозирование деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611103 от 21.01.2021.

52. Козлов А.А., Переборова Н.В., Киселев С.В., Егоров И.М. Прогнозирование релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613190 от 03.03.2021.

53. Переборова Н.В., Киселев С.В., Егоров И.М., Козлов А.А. Моделирование деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610850 от 19.01.2021.

54. Переборова Н.В., Киселев С.В., Егоров И.М., Козлов А.А. Моделирование релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611368 от 26.01.2021.

55. Вагнер В.И., Козлов А.А., Переборова Н.В., Киселев С.В. Системный анализ деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613192 от 03.03.2021.

56. Вагнер В.И., Козлов А.А., Переборова Н.В., Киселев С.В. Системный анализ релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611106 от 21.01.2021.

57. Киселев С.В., Вагнер В.И., Козлов А.А., Переборова Н.В. Качественный анализ деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611105 от 21.01.2021.

58. Киселев С.В., Вагнер В.И., Козлов А.А., Переборова Н.В. Качественный анализ релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613748 от 12.03.2021.

59. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Киселев С.В., Козлов А.А. Численный расчет деформационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610957 от 20.01.2021.

60. Макаров А.Г., Переборова Н.В., Киселев С.В., Козлов А.А. Численный расчет релаксационно-эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610849 от 19.01.2021.

61. Буряк Е.А., Переборова Н.В., Киселев С.В., Козлов А.А. Проведение качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616089 от 16.04.2021.

62. Буряк Е.А., Переборова Н.В., Киселев С.В., Козлов А.А. Проведение качественной оценки деформационных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610955 от 20.01.2021.

63. Буряк Е.А., Переборова Н.В., Киселев С.В., Козлов А.А. Проведение качественной оценки восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611104 от 21.01.2021.

64. 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.

65. 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.

66. 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.

67. 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.

68. 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.

69. 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.