



На правах рукописи

Монахов Владислав Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СТАРЕНИЯ СВОЙСТВ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специальность 05.19.01 - «Материаловедение производств
текстильной и легкой промышленности»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2022

Работа выполнена на кафедре Автоматики и промышленной электроники
ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)»

Научный
руководитель: Севостьянов Петр Алексеевич, доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры Автоматизированных
систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»,
г. Москва

Официальные
оппоненты: Койтова Жанна Юрьевна, доктор технических наук,
профессор, проректор по учебной работе ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургская государственная
художественно-промышленная академия имени А.Л.
Штиглица», г. Санкт-Петербург.

Шарапова Марина Владимировна,
кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой
«Медиакоммуникации» ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.» г. Саратов.

Ведущая
организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна»
г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится « 27 » сентября 2022 года в 10 -00 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 , созданного на базе ФГБОУ
ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии.
Дизайн. Искусство)» по адресу: 117997, Москва, ул. Малая Калужская д. 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии.
Дизайн. Искусство)» и на официальном сайте <https://kosygin-rgu.ru/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.06,

д-р техн. наук, проф.



Кирсанова Елена Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Постоянное расширение ассортимента производимых текстильных материалов и диапазона их применения не только в потребительских, но в технических и специальных целях делают все более актуальной тему оценки устойчивости текстильных материалов к внешним воздействиям в условиях нормальной эксплуатации. Основными факторами, влияющими на потерю текстильными материалами их эксплуатационных свойств, являются действующие в течение продолжительного времени механические воздействия, электромагнитные излучения от радиации до тепловой части спектра. Воздействие этих факторов приводит к изменению в худшую сторону (деградации) свойств как волокон, образующих текстильный материал, так и структуры этого материала – нитей, пряжи, тканых и нетканых полотен.

Исследование динамики развития эффектов старения, износа, истирания, разрушения текстильных материалов экспериментальными методами хотя и дает наиболее точную и конкретную информацию об испытуемых образцах, но требует специальной аппаратуры, занимает много, а иногда и неприемлемо много времени, не позволяет получить системное представление об изучаемом явлении.

Поэтому перспективным является использование методов компьютерного моделирования для имитации явлений старения, износа, истирания, разрушения текстильных материалов, которое позволяет получить обобщенное представление о роли многих факторов и изучить динамику этих процессов.

Данная работа направлена на создание компьютерных средств исследования статистической динамики нестационарных процессов развития явлений износа, истирания, старения, разрушения в одномерных и плоских волокнистых материалах.

Целью диссертационной работы является разработка компьютерных моделей для имитации статистической динамики истирания, старения и разрушения одномерных и тканых волокнистых материалов методами имитационного статистического моделирования. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ научно-технической литературы, посвященной проблемам исследования процессов истирания, старения и разрушения волокнистых материалов в условиях нормальной эксплуатации, теоретических методов и математических моделей, разработанных для решения этих проблем;
- исследовать возможности, преимущества и методы реализации компьютерных моделей для статистической имитации динамики истирания, старения и разрушения одномерных и тканых волокнистых материалов;
- разработать алгоритмы и их компьютерные программные реализации для моделирования статистической динамики истирания, старения и разрушения волокнистых материалов;
- построить планы проведения вычислительных экспериментов с разработанными моделями и методику обработки их результатов;
- оценить прогностические возможности моделей и их адекватность в срав-

нении с известной информацией по ранее проведенным исследованиям и с основными физическими представлениями о взаимодействии различных параметров и факторов воздействия на динамику процессов деградации волокнистых материалов

Объектом исследования являются одномерные волокнистые материалы: волокна, нити, пряжа, - и двумерные материалы в виде однослойных тканых полотен, произведенных как из натуральных, так и химических волокон различного происхождения.

Методы исследования

Основным методом исследования являлся метод компьютерного имитационного статистического моделирования объектов – материалов и процессов износа, истирания, старения, разрушения этих материалов. При реализации этого метода использовались методы и средства теории вероятностей, математической статистики, теории вероятностных процессов и статистической динамики, планирования экспериментов, подобия и анализа размерностей, корреляционного и регрессионного анализа. Разработанные программные средства исследования были реализованы в вычислительной программной системе Matlab.

Научная новизна работы

При проведении теоретических исследований и вычислительных экспериментов автором впервые:

- разработаны алгоритм и компьютерная статистическая модель динамики истирания тканого полотна. Исследована динамика истирания полотен на испытательных приборах при анализе устойчивости тканей к истиранию;

- исследована динамика возникновения и распространения структурных изменений в одномерных волокнистых материалах при их старении для нормальных условий эксплуатации и при нестационарных локальных экстремальных воздействий на материал. Разработаны алгоритм и компьютерная статистическая модель динамики процесса старения этих материалов;

- выполнено исследование и сравнение двух основных видов механического взаимодействия элементов волокнистого материала – сухого и вязкого трения с использованием разработанных компьютерных программ имитации. Показано, что статистический разброс параметров волокнистых материалов приводит к эффекту превращения законов сухого трения в закономерности, характерные для вязкого трения и необратимых деформаций и изменений в волокнистых материалах;

- исследована динамика нарастания деформации образцов тканого полотна на испытательных разрывных машинах, разработаны алгоритмы и их программные реализации для моделирования статистической динамики удлинения образцов тканого полотна.

- исследована роль неравномерности необратимых деформаций в образцах тканых полотен при их удлинении на испытательном оборудовании, для чего разработаны алгоритм и методика моделирования.

Практическая значимость результатов работы заключается в:

- создании единой методики разработки компьютерных моделей, позволяющей создать автоматизированный моделирующий комплекс для исследования

процессов износа, старения, истирания и разрушения одномерных волокнистых материалов и тканых текстильных полотен;

- получении новой информации: о динамике взаимодействия волокон и элементов волокнистого материала при его эксплуатации; о развитии процессов старения и деструкции волокнистых материалов; о роли вероятностных факторов и неравномерности волокнистых материалов на их деформации и разрушении.

- получении ряда зависимостей, отображающих влияние наиболее значимых факторов на процессы износа и старения, истирания и разрыва одномерных волокнистых материалов и тканых полотен.

- разработке комплекса программ для прогнозирования влияния параметров волокнистого материала на показатели динамики развития этих процессов;

- разработке методик моделирования и проведения компьютерных экспериментов с моделями для анализа влияния различных факторов: свойств волокон и структуры волокнистого материала, - на динамику процессов износа и старения, истирания и разрыва одномерных волокнистых материалов и тканых полотен;

Апробация и реализация результатов работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на VIII Международной научно-практической конференции «Академическая наука - проблемы и достижения» / Academic science - problems and achievements VIII (2016, North Charleston, USA);

- на международной научно-практической конференции «Моделирование в технике и экономике» (2016, ВГТУ, Витебск);

- на 68-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству» (2016, КГТУ, Кострома);

- на международной научно-технической конференции преподавателей и студентов (2016, 2017, ВГТУ, Витебск);

- на международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2016, 2018, РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва);

- на межвузовской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера» (ПОИСК-2017, 2018, 2019, ИВГПУ, Иваново);

- на международном научно-техническом форуме «Первые международные Косыгинские чтения» (МНТФ Косыгин – 2017, РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва);

- на международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (2017, ВГТУ, Витебск).

По результатам работы оформлено ноу-хау:

- Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Разработка алгоритмов компьютерного имитационного статистического моделирования износа и старения одномерных волокнистых материалов. 05.05.2017 № 13-51-04-17КТ.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 28 печатных работах, 13 из которых – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Структура и объем работы. По своей структуре диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, списка литературы, приложений. Работа изложена на 205 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 25 таблиц. Список литературы включает 193 библиографический и электронный источник. Приложения представлены на 1 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, обозначены цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ существующих работ по исследованию износа, истирания, старения, разрушения одномерных и тканых волокнистых материалов. Огромное количество отечественных и зарубежных экспериментальных работ получены интегральные показатели качества исследуемых материалов. Однако динамика развития медленно протекающих процессов деградации волокнистых материалов ввиду трудностей проведения подобных экспериментов практически не нашла отражения в этих исследованиях. Дано обоснование возможностей и преимуществ методов компьютерного моделирования для изучения такого рода процессов. Определено, что использование компьютерных методов дает возможность и преимущества в изучении влияния различных факторов на протекание процессов износа, истирания, старения, разрушения одномерных и тканых волокнистых материалов в условиях нормальной эксплуатации. Отмечено относительно небольшое количество работ по исследованию процессов, старения. Методы искусственного старения материалов, в основном, заключаются в испытаниях методами повторных стирок, интенсивного ультрафиолетового и светового облучения, истирания материалов. Большой вклад в эти исследования внесен работами Ю.С. Шустова, А.Е. Третьяковой, Я.И. Булановым, С.С. Юхиным, П.Е. Сафоновым, Н.А. Виноградовой, А.А. Кузнецовым, А.Ф. Давыдовым, С.М. Кирюхиным. Модельный подход к исследованиям процессов старения реализован в работах К.Е. Перепелкина, И.Ю. Моргоевой, Е.И. Никитиных, П.А. Севостьянова. Установлены общие закономерности изменения механических свойств волокнистых материалов во времени, носящие, в основном, экспоненциальный характер.

Во второй главе рассматриваются процессы истирания и трения материала. Предложена математическая модель динамики потери массы m волокнистым материалом при его истирании, которая приводится к дифференциальному уравнению Бернулли. Решение уравнения описывает динамику уменьшения массы

$$u(t) = \exp \left(- \left(a_0 t + a_t t^2 \right) \left(m_0^{-1} + a_m \int_0^t \exp \left(- a_0 \tau - a_\tau \tau^2 \right) d\tau \right) \right) \quad (1)$$

в соответствии с которым убывание массы описывается S-образной кривой (рис.°1). В уравнении $u = m^{-1}$, a_0 , a_t , a_m , a_τ – параметры уравнения. В табл.1, 2 и 3 приведены характеристики образцов тканей и результаты истирания их образцов на машинах ИТ-3М и методом Мартиндейла. Результаты моделирования согласуются с этими экспериментальными данными.

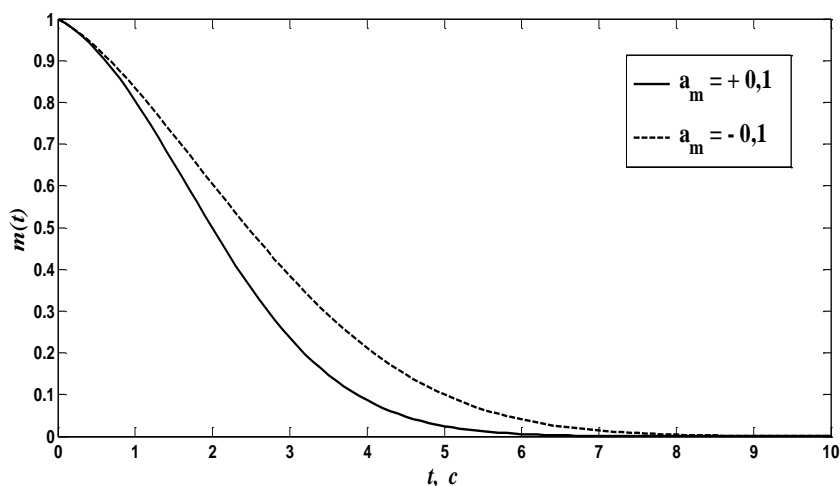


Рис. 1. Динамика потери массы образцом полотна при истирании (усл. ед.)

Таблица 1 – Характеристика образцов ткани

Наименование ткани	Сырьевой состав ткани, %	Поверхн. плотность, г/м ²
Rigchief Universal, арт. 103383	Основа, уток: Х/Б-100; Токопроводящая нить – ПЭ + Ме-сод.	320 ± 16
«Лидер-Комфорт 250», арт. 18422 а/х-М	Основа, уток: см. пр. Х/Б-80, ПЭ-20; токопроводящая нить – ПЭ к.н.+ Ме-сод.	255±10

Таблица 2 – Результаты испытания приборе Martindale

Кол-во циклов истирания	Потеря массы, %	
	Rigchief Universal, арт. 103383	«Лидер-Комфорт 250», арт. 18422 а/х-М
15000	7,36	3,8
20000	8,88	5,11
25000	10,02	7,59
30000	11,03	10,64
35000	12,37	12,81

Таблица 3 – Результаты истирания на приборе ИТ-3М.

Кол-во циклов истирания	Потеря массы, %	
	Rigchief Universal, арт. 103383	«Лидер-Комфорт 250», арт. 18422 а/х-М
2000	2,58	1,45
2500	3,11	1,84
3000	5,05	2,63
3500	9,92	3,52
4000	14,38	4,87

Компьютерная имитационная модель истирания образца ткани с учетом статистического разброса свойств нитей и неравномерной поверхности из-за переплетения нитей основы и утка позволило более детально отобразить динамику истирания, которая отображена на рис. 2 слева и нарастание среднеквадратического отклонения массы по площади образца (СКО) по мере его истирания (на рисунке справа).

Построена модель трения волокон в волокнистом материале на основе обобщенного закона Амонтона – Кулона с учетом статистического разброса коэффициентов трения, сцепления и нормального давления. Установлено, что статистический разброс при усреднении по массе точек контакта в материале приво-

дит к закономерностям трения, характерным для вязких материалов.

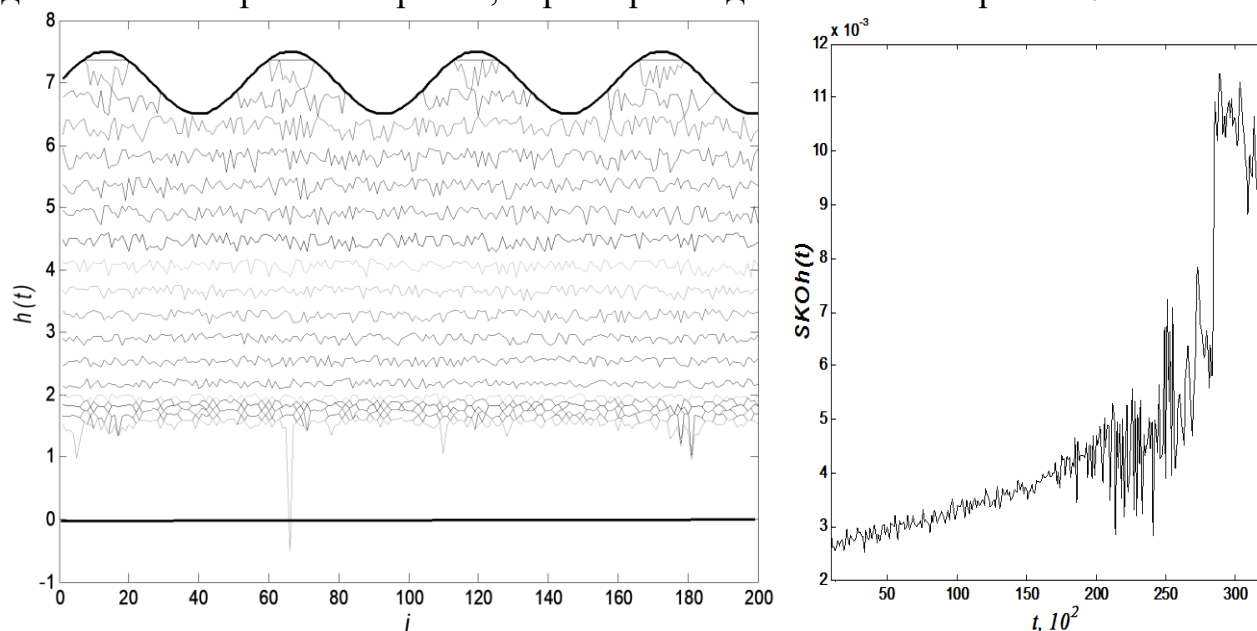


Рис. 2. Динамика истирания (периодический начальный профиль по толщине)

В третьей главе описаны методы и результаты исследования износа и старения одномерных волокнистых материалов методами компьютерной имитации.

Предложена вероятностная схема возникновения и распространения дефектов по длине волокон или нитей под действием внешних факторов. Построены алгоритмы, воспроизводящие распространение эффектов деструкции, приводящие к постепенной потере волокнами эксплуатационных свойств. На рис. 3 показана динамика возникновения и распространения по длине образца эффектов старения при стационарных (слева) и нестационарных (справа) условиях эксплуатации. Показано, что износ и старение являются вероятностными процессами с большим разбросом характеристик.

На рис. 4 показан темп накопления дефектов в нити при одних и тех же условиях эксплуатации для 4-х разных реализаций.

Для оценки динамики процесса необходим числовой критерий, по которому можно сравнивать различные варианты моделей. В качестве такого критерия для оценки динамики процесса примем время моделирования T_p до первого пересечения областей разных дефектов или до появления нового дефекта в пределах области материала, захваченной уже существующим дефектом. Будем фиксировать число дефектов N_p , возникающих к моменту времени T_p .

Установлено, что время накопления числа дефектов, выбранного в качестве критического, распределено по закону Вейбулла или близкому к нему инверсному Гауссову распределению (распределению Вальда), что согласуется с данными экспериментов по длительности хранения изделий из волокнистых материалов до достижения ими предельного уровня износа

$$f(T) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi T^3}} \exp\left\{-\frac{\lambda}{2\mu} \left(\frac{T}{\mu} - 2 + \frac{\mu}{T}\right)^2\right\}, \quad T > 0$$

На рис. 4 приведены четыре реализации накопления числа дефектов $n(t)$. На

рис. 5 представлена гистограмма времени накопления N дефектов и кривая функции плотности вероятности. На рис. 6 показано, как меняется форма распределения при ускорении процесса старения, если на возникновение новых областей старения влияет количество и размер ранее образовавшихся областей.

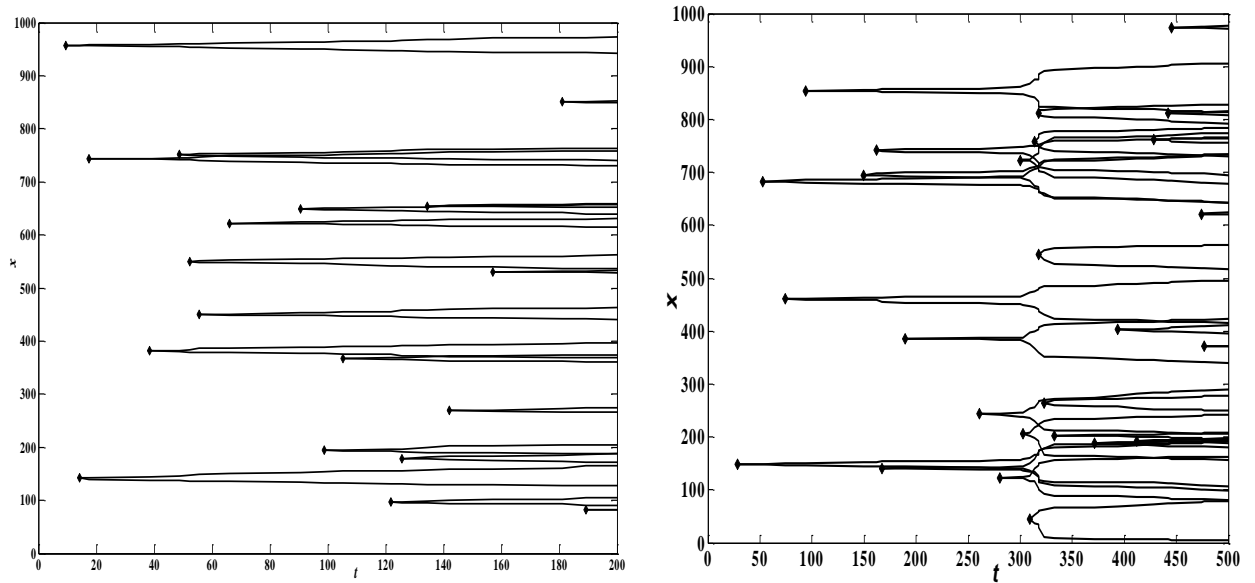


Рис. 3. Динамика старения нити при стационарных (слева) и нестационарных (справа) условиях эксплуатации

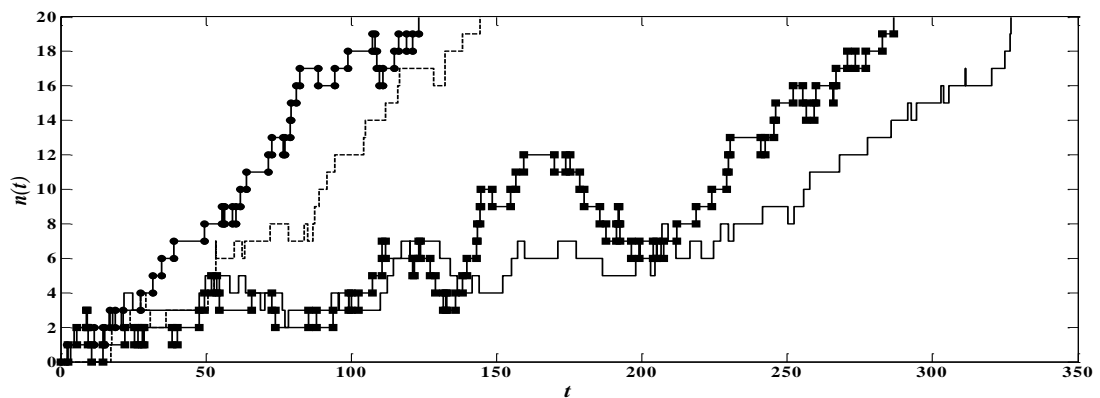


Рис. 4. Пример четырех реализаций накопления числа дефектов $n(t)$

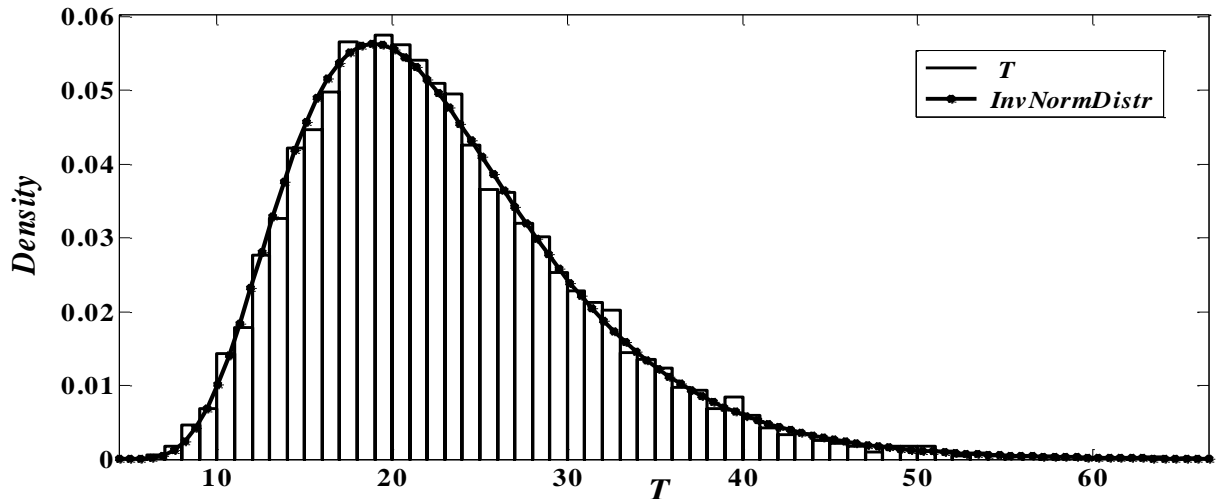


Рис. 5. Распределение времени развития износа одномерных волокнистых материалах и его аппроксимация распределением Вальда

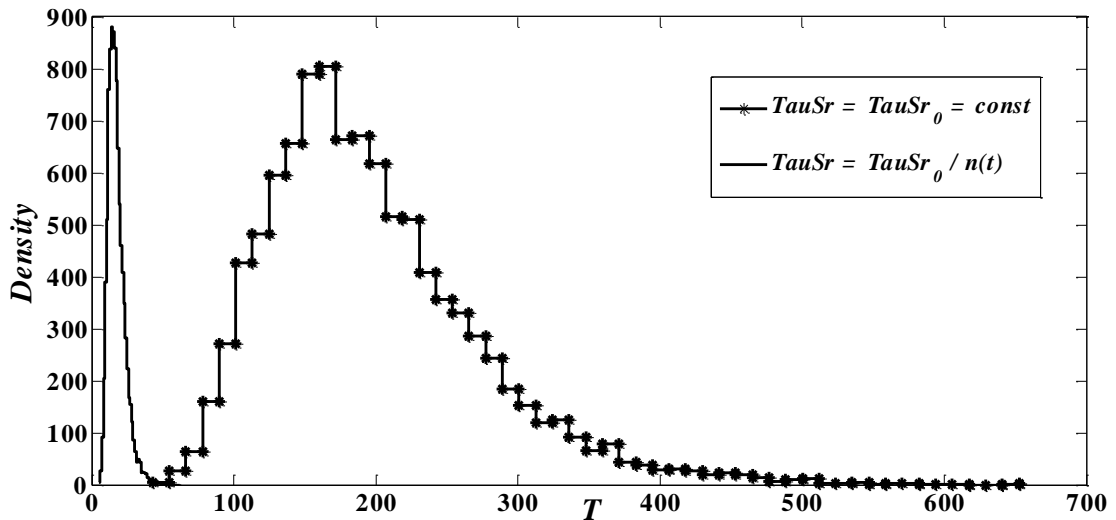


Рис. 6. Гистограмма распределения времени накопления первых N дефектов по длине x во времени t

Для проверки достоверности модели на качественном уровне и чувствительности результатов моделирования к исходным предположениям, сделанным при разработке модели, было выполнено сравнительное исследование трех вариантов модели. В 1-м варианте модели (Var.1) в качестве закона распределения интервалов времени между появлениями дефектов принято экспоненциальное распределение случайных интервалов τ со средним $TauSr$. Во 2-м варианте (Var.2) интервалы времени моделируются равномерно распределенными значениями в диапазоне от нуля до $2 TauSr$. В 3-м варианте (Var.3) интервалы времени между моментами появления дефектов постоянны и равными $\tau = TauSr$.

Оценки функций плотности вероятностей p^* и интегральных функций распределения Sp^* для Tr приведены на рис. 7, а для Np – на рис. 8. Во всех трех вариантах модели для Tr наиболее подходящим оказалось распределение Вейбулла (рис. 9).

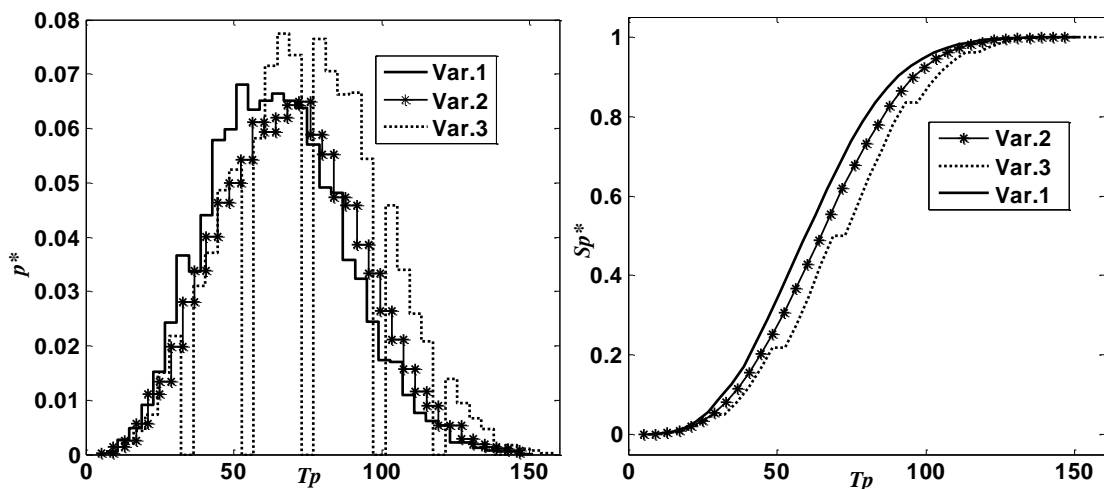


Рис. 7. Оценки функций плотности вероятностей p^* и интегральных функций распределения Sp^* для Tr

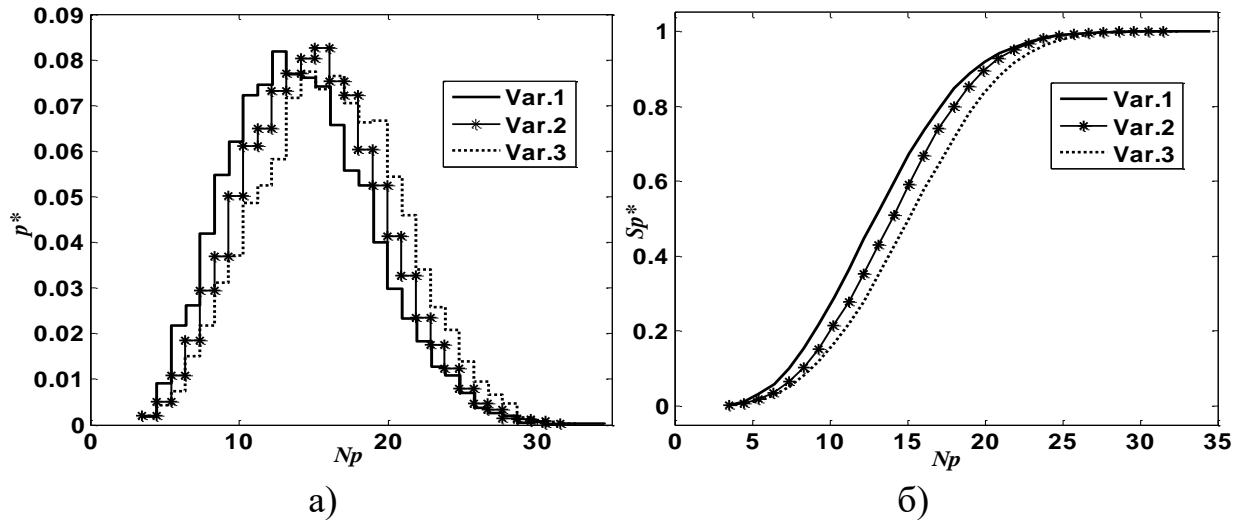


Рис. 8. Оценки функций плотностей вероятностей p^* и интегральных функций распределения Sp^* для Np

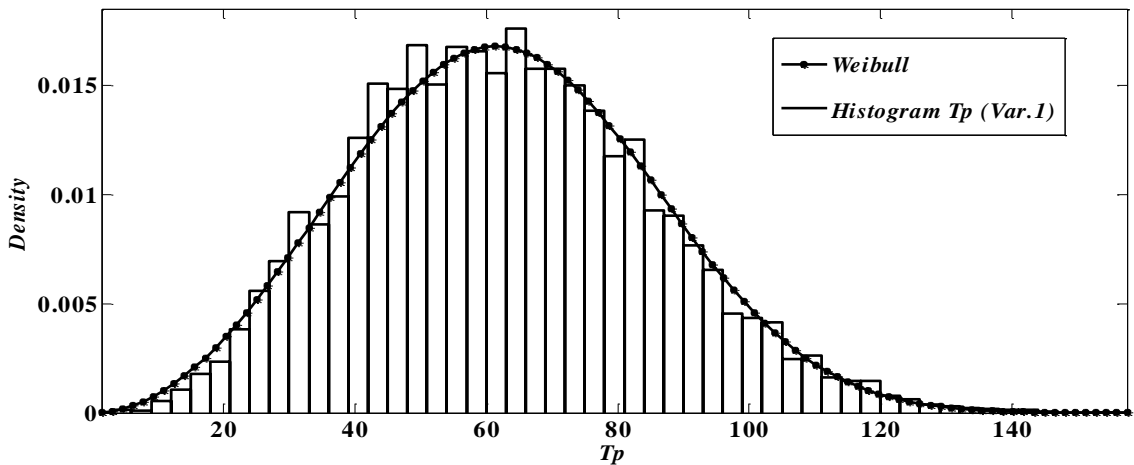


Рис. 9. Сглаживающая кривая распределения Вейбулла для 1-го варианта модели

Значения дискретной случайной величины Np имеют распределение, представленное на рис. 10 точечными диаграммами, которые аппроксимируются отрицательным биномиальным распределением. По результатам моделирования установлено, что выбор формы распределения интервалов времени между возникновениями дефектов не отражается существенным образом на итоговых распределениях времени старения материала.

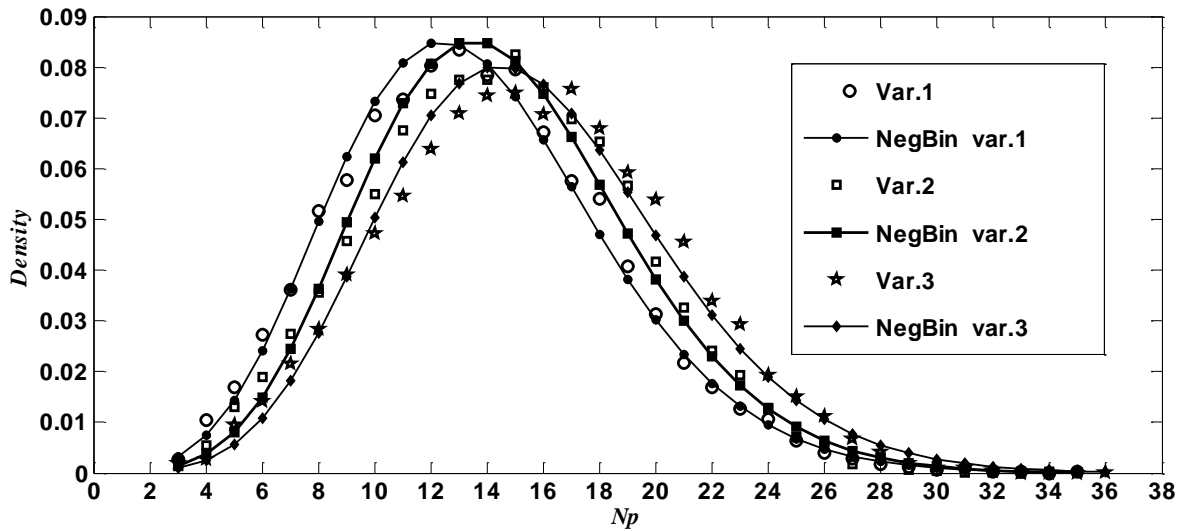


Рис. 10. Распределения NegBin для трех вариантов модели

Была исследована также динамика изменения числовых характеристик распределения времени Tp . Кривые на рис. 11 показывают, что с увеличением средней продолжительности интервалов между появлениями дефектов продолжительность развития областей дефектов также нарастает, хотя скорость этого нарастания постепенно снижается. Кривые хорошо аппроксимируются зависимостью $\sim a + b (TpSr)^{1/2}$, коэффициенты которой a и b можно оценить, например, методом наименьших квадратов.

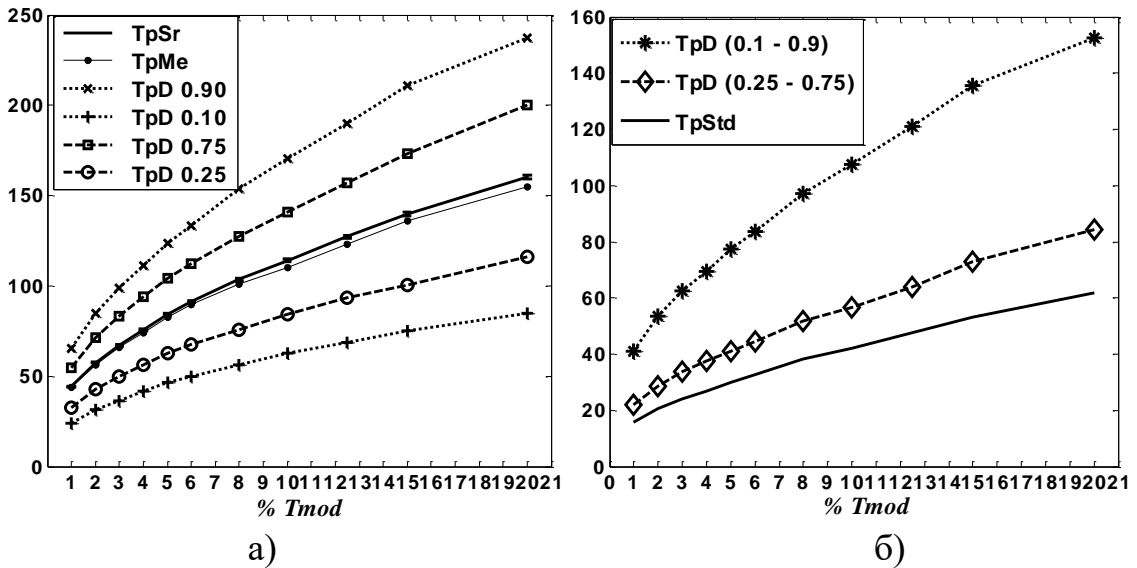


Рис. 11. Динамика изменения числовых характеристик Tp

Разработанная модель позволила провести аналогичные исследования и для случаев эксплуатации материала с нарушениями нормальных условий эксплуатации, которые выразились в скачкообразном изменении интенсивности возникновения дефектов по длине нити. Пример развития дефектов в этом случае показан на рис.3 (справа). Была выполнена проверка робастности модели. На рис.12 показаны гистограммы времени достижения предельной интенсивности дефектов при экспоненциальном распределении (Exp) и равномерном распределении (Un) интенсивности возникновения дефектов.

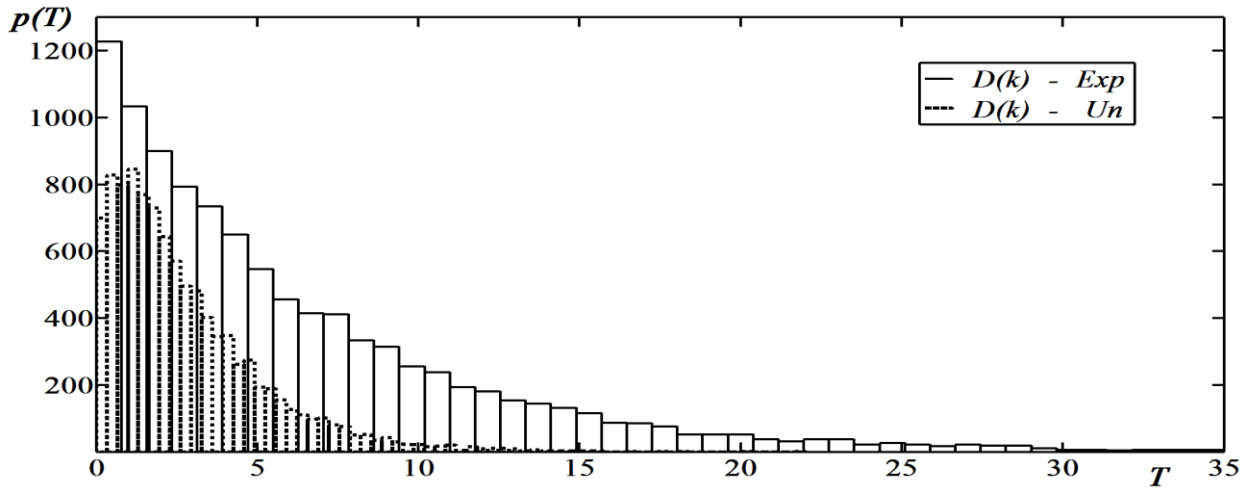


Рис. 12. Гистограммы времени достижения предельной интенсивности дефектов при экспоненциальном распределении (Exp) и равномерном распределении (Un)

В четвертой главе описаны модели деформаций тканых полотен и нитей. Исследование деформаций и разрыва в образцах тканых полотен выполнено с применением методов компьютерной имитации и метода конечных элементов (МКЭ). На рис. 13 показан фрагмент сетки МКЭ для нитей основы и направления распределений сил, замещающих взаимодействие с утком.

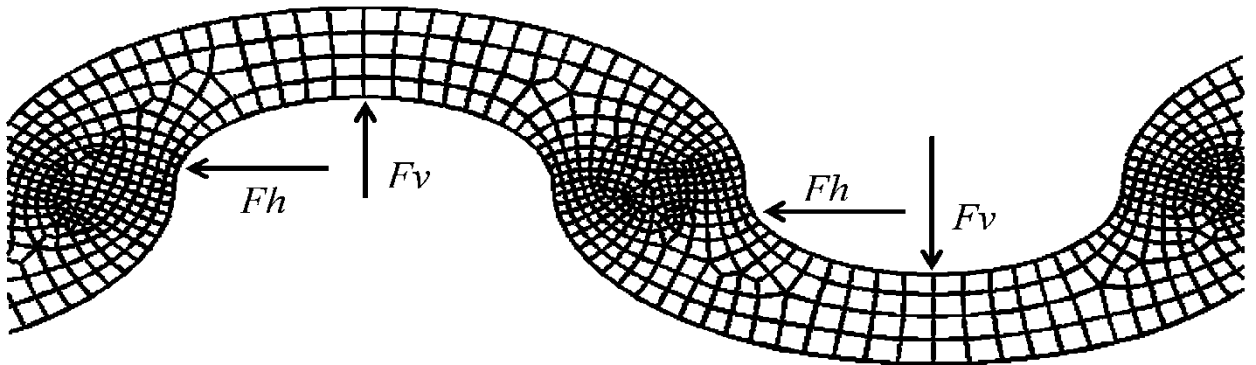


Рис. 13. Фрагмент сетки МКЭ для участка нити основы в элементе ткан

Вычисления деформации проводились с учетом случайных вариаций модуля упругости нитей в пределах областей перекрытия, а также интенсивностей сил давления и трения F_v и F_h со стороны утка. Доказан сложный характер распределения нагрузок на нити при их деформации как по величинам, так и по направлениям. Примером являются графики компонентов тензора деформации e_{XX1} и e_{YY1} , которые наглядно показывают роль вариаций модуля упругости вследствие структурных изменений нити основы при формировании элементов ткани и взаимодействия с нитями утка (рис. 14).

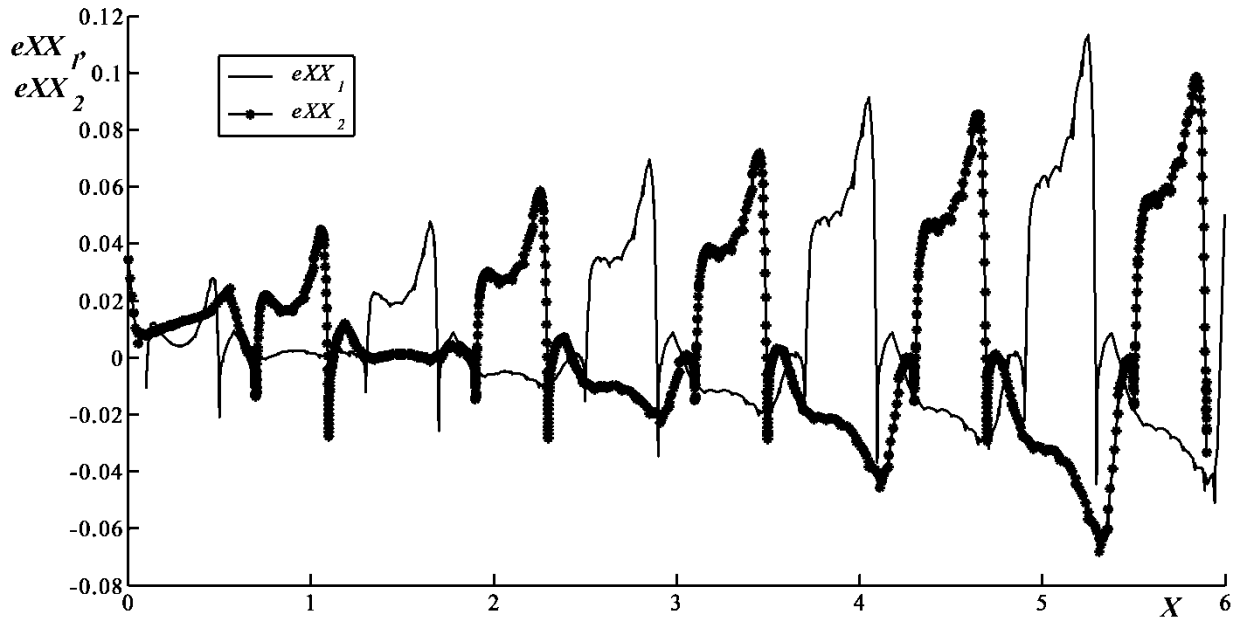


Рис. 14. Распределение компонента тензора деформации по верхнему $eX eXX1$ и нижнему $eXX2$ контуру нити
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложен комплексный подход к исследованию процессов старения свойств текстильных материалов, проявляющихся в износе, истирании и разрушении этих материалов в процессе эксплуатации, основанный на применении методов компьютерного статистического моделирования и методе статистической имитации динамики процесса.

2. Разработаны алгоритмы моделирования, основанные на воспроизведении физических представлений о процессах старения, установлена адекватность модели, построенной на основе этих алгоритмов, с имеющимися данными натуральных экспериментов.

3. Предложен ряд упрощенных математических моделей истирания тканых полотен, позволяющих исследовать отдельные аспекты описанных процессов. Получена модель динамики изменения деформации волокнистого материала на разных участках полотна с учетом статистического разброса и структурной неоднородности этих материалов. Компьютерные модели позволили впервые выявить роль неоднородности материала и случайных вариаций в свойствах нитей, образующих материал, на скорость истирания.

4. Исследована динамика старения одномерных волокнистых материалов (нитей, пряжи, волокон) вследствие воздействия на них внешних факторов светопогоды, излучений, химических воздействий и других, приводящее к возникновению локальных центров повреждения, которые в дальнейшем усиливаются и распространяются по длине материала этих нитей.

5. Установлена принципиально важная роль случайного разброса свойств волокон в волокнистых материалах на эффекты трения, которое приводит к нивелированию законов сухого трения в волокнистой массе и приближает эти законы к законам вязкого трения.

6. Разработана модель деформации тканых полотен под действием нагрузки и показано, что механизм деформации принципиально отличается от механиз-

мов деформации сплошных сред. Выявлена важная роль статистического разброса в свойствах нитей и волокон на возникновение и развитие областей разрушения.

7. Все разработанные модели включают в себя большое число факторов, которые практически невозможно учесть в натуральных и эмпирических исследованиях. Модели дают преимущество в исследовании этих процессов, поскольку позволяют наблюдать все процессы старения в динамике, что весьма затруднительно делать в натуральных экспериментах.

8. Исследована робастность моделей к ряду неопределенных факторов и установлена в ряде случаев незначимость этих факторов на характер процессов.

9. Примененный метод компьютерной статистической имитации позволил впервые детально моделировать процесс износа, старения, истирания волокнистых материалов на уровне, недостижимом другими способами исследования и получать детальную информацию о динамике процесса с учетом статистического разброса характеристик волокнистого материала.

10. Сравнение результатов компьютерного моделирования с результатами некоторых натуральных исследований процессов истирания и старения волокнистых материалов подтвердил адекватность этих моделей и является основанием для применения этих моделей для прогнозирования влияния различных факторов на процесс старения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)

Статьи в изданиях, входящих в «Перечень...» ВАК при Минобрнауки России:

1. **Монахов В.В.**, Ордов К.В., Самойлова Т.А., Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование динамики износа и старения материалов в условиях нормальной эксплуатации // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2016 - №3 (363) – с. 286-290.

2. Севостьянов П.А., **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А. Модель динамики старения и износа одномерного полимерного материала // Химические волокна – 2017. - № 1. – с. 74-76.

3. Севостьянов П.А., **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Ордов К.В. Имитационная модель износа и старения одномерного материала в нестационарных условиях внешних воздействий // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2017. - № 1 (367). – с. 223-226.

4. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Ордов К.В., **Монахов В.В.** Динамика удлинения и разрыва комплексных нитей и ее связь со свойствами элементарных нитей при моделировании полуцикловых деформаций // Химические волокна – 2017. - № 2. – с. 64-66.

5. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Исследование робастности старения полимерных нитей и волокон методами компьютерной имитации // Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2017. - № 2 (368). – с. 305-308.

6. Sevost'yanov P.A., **Monakhov V.V.**, Samoiloa T.A. One-Dimensional Polymeric Material Aging and Wear Model // Fibre Chemistry. 49(1) 2017, pp. 76-78.

7. Sevost'yanov P.A., Samoiloa T.A., Ordov K.V., **Monakhov V.V.** Dynamics

of Elongation and Breaking of Complex Yarns and Its Dependence on Filament Properties in Modeling Semicyclic Deformations // *Fibre Chemistry*. 49(2) 2017, pp. 142-144.

8. Севостьянов П.А., **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А. Анализ старения синтетических нитей методами компьютерного моделирования // *Химические волокна* – 2017. - № 4. – с. 52-54.

9. Sevost'yanov P.A., **Monakhov V.V.**, Samoilova T.A. Analysis of ageing of synthetic filaments by methods of computer simulation // *Fibre Chemistry*. 49(4) 2017, pp. 281-283.

10. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Распределение деформаций по основе и влияние уточных нитей на деформацию при моделировании удлинения основной нити в ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности* – 2018. - № 3 (375). – с. 163-166.

11. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Моделирование неравномерности распределения деформации основных нитей в тканых полотнах методом конечных элементов // *Химические волокна* – 2018. - № 5. – с. 93-96.

12. Sevostyanov P.A., Samoilova T.A., **Monakhov V.V.** Finite-Element Modeling of Nonuniformity in the Strain Distribution for Warp Yarns in Fabrics // *Fibre Chemistry*, 50(5), 2019, pp. 473-476.

13. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Моделирование удлинения основной нити в ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности* – 2019. - № 2 (380). – с. 199-202.

Статьи в прочих изданиях:

1. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Модель динамики старения одномерного полимерного материала в стационарных и нестационарных условиях эксплуатации // *Academic science - problems and achievements VIII: Proceedings of the Conference*. North Charleston, 15-16.02.2016, Vol. 2 — North Charleston, SC, USA:CreateSpace, 2016, p. 206, 132-133 p.

2. **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Севостьянов П.А., Ордов К.В. Имитационные модели процессов износа и старения волокнистых материалов при нормальных условиях эксплуатации // *Моделирование в технике и экономике : материалы международной научно-практической конференции, Витебск, 23–24 марта 2016 года / УО «ВГТУ»*. – Витебск, 2016. – 557 с. – с. 125-127.

3. **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Севостьянов П.А. Компьютерная модель динамики возникновения дефектов в одномерном материале // *Студенты и молодые ученые КГТУ — производству : материалы 68-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов*. 25–29 апреля 2016 г. В 2 т. Т. 2. Секции 4–8 / Костромской гос. технол. ун-та. — Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2016. - 148 с. – с. 111-112.

4. **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Севостьянов П.А. Исследование динамики старения материалов методами компьютерной имитации // *Тезисы докладов 49 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ»*. — Витебск, 2016. - 194 с. – с. 114.

5. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных при компьютерном моделировании процессов старения и износа волокнистых материалов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 3. – М.: ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2016. – 308 с. – с. 113-116.

6. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Некоторые аспекты моделирования задач структурной механики тканых полотен // Материалы докладов 50-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки в двух томах. Том 1 – 2017. – 266 с. – с. 273-275.

7. Самойлова Т.А., **Монахов В.В.**, Севостьянов П.А. Имитационная модель возникновения дефектов в материале // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК – 2017): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов (с междунар. участием). Ч. 2. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – 302 с. – с. 368–369.

8. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Статистические закономерности взаимосвязи между сухим и вязким трением в волокнистом материале // Современные задачи инженерных наук [Текст]: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления» Международного научно-технического Форума «Первые международные Косыгинские чтения» (11-12 октября 2017 года). Том 2. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017. – 317 с. – с. 82-84.

9. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.**, Воробьев И.Н. Робастность моделей разрыва тканых полотен // Материалы докладов международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» - Витебск: ВГТУ, 2017. – 308 с. – с. 295-298.

10. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Простая конечноэлементная модель удлинения образца тканого полотна // Материалы и технологии - 2018. - № 1. – с. 33-36.

11. **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Севостьянов П.А., Энергетический подход к интегральной оценке сопротивляемости текстильных полотен механическим нагрузкам // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2018): сб. материалов межвузовской (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – 364 с. – с. 220-221.

12. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.**, Воробьев И.Н. Фрактальная модель статистической динамики старения одномерных полимерных материалов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 2. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – 282 с. – с. 242-245.

13. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.**, Воробьев И.Н. Пла-

нирование экспериментов и обработка данных моделирования процессов старения полимерных материалов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 2. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – 282 с. – с. 246-249.

14. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., **Монахов В.В.** Одномерная модель удлинения нитей основы в тканом полотне с учетом сил трения // Материалы и технологии - 2018. - № 2. – с. 89-93.

15. **Монахов В.В.**, Самойлова Т.А., Севостьянов П.А. Особенности и методы моделирования деформации и разрыва тканых полотен // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК–2019): сб. материалов всероссийской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2019.– Часть 1. – 364 с. – с. 32-35.