

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 677.017

МАРУЩАК
Юлия Игоревна

**ФОРМИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ С ПОЛИУРЕТАНОВЫМ
ПОКРЫТИЕМ ОДЕЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.19.01 – «Материаловедение производств текстильной и
легкой промышленности»

Витебск, 2026

Научная работа выполнена в учреждении образования
«Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель: **Ясинская Наталья Николаевна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии и химических технологий учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Официальные оппоненты: **Шустов Юрий Степанович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»;

Борозна Вилия Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технического регулирования и товароведения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь.

Защита состоится «24» сентября 2026 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:

210038, г. Витебск, Московский проспект, 72.

E-mail: vstu@vitebsk.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «16» июля 2026 года.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент



Н. В. Скобова

ВВЕДЕНИЕ

В сегменте производства одежды особое значение приобретает создание текстильных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами. Широкие возможности в этом направлении состоят в переходе к многослойным структурам, особое место среди которых занимают ткани с полимерными покрытиями. Среди них наибольшее распространение получили полиуретановые, что объясняется возможностью формирования пористой структуры, обеспечивающей требуемый уровень воздухо- и паропроницаемости при сохранении физико-механических свойств материала.

Потребность белорусских предприятий в тканях с полимерным покрытием для пошива одежды преимущественно удовлетворяется за счет импорта. Такая зависимость делает отечественных производителей уязвимыми к колебаниям конъюнктуры мирового рынка, а также ограничивает возможность создания материалов, адаптированных к конкретным запросам. Более того, многие импортные аналоги не всегда в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к материалам одежного назначения, что делает актуальной разработку научно обоснованного подхода к проектированию отечественных материалов данного класса. В связи с этим разработка научных основ создания тканей с полиуретановым покрытием для одежды, формирование и комплексная оценка их свойств приобретают научную и практическую значимость. Актуальность работы обуславливается государственной стратегией развития легкой промышленности, которая направлена на улучшение качества и повышение конкурентоспособности отечественных материалов и изделий.

Тема диссертационной работы соответствует Приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 годы № 4 «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы (композиционные и многофункциональные материалы)» (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156) и на 2026 – 2030 годы № 2 «Инновационные технологии в промышленности (новые материалы с заданными свойствами)» (Указ Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 г. № 135).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами.

Работа выполнялась в рамках аспирантского гранта Министерства образования 2024-Г/Б-391 с 19.02.2024 г. по 31.12.2024 г. на выполнение научно-исследовательской работы по теме «Оценка и прогнозирование физико-механических свойств тканей с полиуретановым покрытием» (№ ГР 20240632); аспирантского гранта Министерства образования 2025-Г/Б-392 с 11.02.2025 г. по 31.12.2025 г. на выполнение научно-исследовательской работы по теме «Оценка и прогнозирование самовосстановления целостности структуры полимерного

покрытия текстильных материалов» (№ ГР 20250503); хозяйственного договора № 244 «Создание и внедрение технологии нанесения функциональных покрытий на хлопчатобумажные ткани» ГР № 20221202 (01.07.2022 г. – 30.11.2022 г.); ГПНИ № 372 «Создание армирующих текстильных структур с заданными свойствами и технологии формирования многофункциональных композиционных материалов с использованием отечественной сырьевой базы» (12.02.2024 г. – 31.12.2024 г.; 24.02.2025 г. – 31.12.2025 г.).

Цель и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованных подходов к формированию заданных эксплуатационных свойств хлопчатобумажных тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения и метода комплексной оценки качества.

В соответствии с указанной целью в работе решались следующие основные задачи:

- разработать алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, определяющий выбор компонентов и параметров технологического процесса исходя из требований, предъявляемых к материалу, что обеспечит формирование заданных эксплуатационных свойств;
- установить математические зависимости, позволяющие прогнозировать наиболее значимые показатели качества тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения с учетом технологических параметров процесса формирования материала;
- разработать комплексный показатель качества тканей с полиуретановым покрытием, обеспечивающий возможность сравнения материалов по совокупности характеристик;
- установить закономерности изменения наиболее значимых показателей качества тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения после внешних воздействий, позволяющие прогнозировать изменение свойств материала в процессе эксплуатации и формулировать рекомендации по уходу за ним;
- выявить кинетические закономерности восстановления целостности полиуретанового покрытия ткани после прокола швейной иглой и разработать методику оценки способности к восстановлению, обеспечивающую возможность прогнозирования сохранности покрытия при пошиве.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования являются хлопчатобумажные ткани с полиуретановым покрытием одежного назначения.

Предметом исследования являются свойства и структура хлопчатобумажных тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения.

Научная новизна работы заключается в разработке, обосновании, экспериментальной проверке подходов к формированию и комплексной оценке эксплуатационных свойств тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения, в рамках которых:

- впервые предложен алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, который включает этапы получения материала и обоснованную

номенклатуру показателей качества, что в совокупности определяет выбор компонентов и параметров технологического процесса исходя из требований к материалу и обеспечивает формирование заданных эксплуатационных свойств;

- впервые для отечественных тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения получены математические зависимости показателей воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости и стойкости к истиранию от технологических параметров формирования покрытия (кратности пены, величины зазора между опорным валом и шабером, температуры и продолжительности термообработки);

- предложен новый метод комплексной оценки качества, основанный на мультипликативном свертывании единичных показателей с использованием простых чисел, который обеспечивает возможность однозначного обратного разложения комплексного показателя в исходный набор единичных;

- применительно к отечественным тканям с полиуретановым покрытием одежного назначения впервые установлены закономерности изменения воздухопроницаемости, паропроницаемости и стойкости к истиранию после температурных воздействий и многократных мокрых обработок, позволяющие прогнозировать изменение свойств материала в процессе эксплуатации;

- впервые разработана методика оценки способности тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой.

Положения, выносимые на защиту:

- алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, включающий этапы получения материала и обоснованную номенклатуру показателей качества, что в совокупности определяет выбор компонентов и параметров технологического процесса исходя из требований, предъявляемых к материалу и обеспечивает направленное формирование его эксплуатационных свойств;

- математические зависимости воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости и стойкости к истиранию тканей с полиуретановым покрытием от кратности пены, величины зазора между опорным валом и шабером, температуры и продолжительности термообработки, позволяющие прогнозировать свойства материала на стадии проектирования и производства;

- новый метод комплексной оценки качества, основанный на мультипликативном свертывании единичных показателей, закодированных простыми числами, обеспечивающий возможность однозначной факторизации комплексного показателя в исходный набор единичных, что позволяет выявлять конкретные показатели, требующие корректировки для достижения заданного уровня качества;

- закономерности изменения воздухопроницаемости, паропроницаемости, стойкости к истиранию тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения после воздействия температуры и многократных мокрых обработок, позволяющие прогнозировать изменение свойств материала в процессе эксплуатации и формулировать рекомендации по уходу за ним;

– новая методика оценки способности к восстановлению целостности полимерного покрытия ткани, позволяющая осуществить выбор режимов образования ниточных соединений материалов с учетом минимизации прорубаемости.

Личный вклад соискателя ученой степени.

Соискателем лично:

– разработан алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, включающий этапы получения материала и обоснованную номенклатуру показателей качества;

– разработаны математические модели, описывающие связь воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости, стойкости к истиранию тканей с полиуретановым покрытием от технологических параметров процесса формирования полимерного покрытия;

– разработан метод комплексной оценки качества, основанный на мультипликативном свертывании единичных показателей с использованием простых чисел;

– установлены закономерности изменения воздухопроницаемости, паропроницаемости, стойкости к истиранию после температурных воздействий и многократных мокрых обработок;

– получены кинетические закономерности восстановления целостности полиуретанового покрытия ткани после прокола швейными иглами различного диаметра стержня и формы заточки острия;

– разработана методика оценки способности полиуретановых покрытий к самовосстановлению после прокола швейной иглой.

Научным руководителем оказывалась консультативная помощь в выборе методологии исследования и интерпретации полученных результатов.

Другими соавторами публикаций являются: доцент кафедры «Экология и химические технологии» Скобова Н. В., совместно с которой выполнены экспериментальные исследования по установлению влияния кратности пены и величины зазора между опорным валом и шабером на свойства материала, которая также участвовала в обсуждении результатов, полученных при выборе рациональных режимов термообработки тканей с полиуретановым покрытием; доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение» Петюль И. А., которая оказывала консультативную помощь при разработке номенклатуры показателей качества, метода комплексной оценки качества и технических условий, а также при апробации методики.

Апробация результатов диссертации.

Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в материалах и тезисах докладов на международных и республиканских конференциях: 56-я, 57-я, 58-я Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов (Витебск, 2023, 2024, 2025); Международный научно-практический форум «SMARTEX» (Иваново, 2023, 2025); Всероссийская научно-практическая конференция «Диалог поколений: Изучаем. Обучаем. Учимся» (Санкт-Петербург, 2023, 2024, 2025); Всероссийская научная

конференция молодых исследователей «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности» (ИНТЕКС) (Москва, 2023, 2025); Всероссийская научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий» (Кострома, 2023, 2024, 2025); Национальная молодежная научно-техническая конференция «ПОИСК» (Иваново, 2023, 2024, 2025); Международная научно-практическая конференция (Гянджа, 2023); Всероссийская научно-практическая конференция (Княгинино, 2023); Всероссийская научная конференция (Казань, 2023); Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2023); Всероссийский круглый стол с международным участием «Технический текстиль – основа научно-технического развития России» (Москва, 2023); Международная научно-практическая конференция «Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары» (Москва, 2024); Всероссийский круглый стол «Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности» (Москва, 2024); Всероссийская научно-практическая конференция «Легкая промышленность: проблемы и перспективы» (Омск, 2024); Международный научно-технический симпозиум «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» (IV Косыгинский форум, Москва, 2024); Международный научно-технический симпозиум, посвященный 120-летию со дня рождения П. Г. Романкова (Москва, 2024); Всероссийская научная конференция «Актуальные направления развития текстильной и легкой промышленности в современных условиях» (Москва, 2024, 2025); Международный научно-технический симпозиум «Современные технологии создания и модифицирования полимерных и волокнистых материалов» (XVII Роговинские чтения) (Москва, 2025).

Опубликованность результатов диссертации.

По результатам исследований опубликовано 49 печатных работ, в том числе – 12 в научных изданиях, включенных в перечень изданий, утвержденных ВАК Республики Беларусь. Общий объем опубликованных материалов составляет 15,6 авторского листа; в том числе объем публикаций, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, – 5,7 авторского листа.

Структура и объем диссертации.

Диссертация содержит введение, общую характеристику работы, 6 глав, заключение, список использованных источников и приложения. Общий объем работы составляет 223 страницы, в том числе 115 страниц текста, включает 71 рисунок, 55 таблиц, 47 формул и 10 приложений (51 страница). Список использованных источников содержит 180 наименований, список которых изложен на 19 страницах, включая собственные публикации соискателя на 7 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава посвящена анализу отечественных и зарубежных источников по вопросам современного состояния и тенденций развития текстильных материалов с полимерным покрытием. Установлено, что объем мирового рынка текстильных материалов с полимерным покрытием ежегодно увеличивается на 4,2–6,3 %, при этом наибольшую долю в структуре занимают полиуретановые покрытия, производимые предприятиями Китая, США, стран ЕС. Традиционно такие материалы применялись в техническом и интерьерном текстиле, однако в последнее десятилетие доля одежного сегмента увеличивается, что связано с расширением ассортимента текстильных материалов с полимерным покрытием и растущим спросом на изделия из них.

Одним из популярных видов таких материалов является «экокожа». Установлено, что под этим названием на рынке представлены материалы различного состава и структуры, что делает термин неопределенным, научно и юридически некорректным. В работе используется термин «ткань с полиуретановым покрытием», который отражает основные компоненты материала, а также согласуется с нормативной документацией. В Республике Беларусь потребность в тканях с полиуретановым покрытием для пошива одежды в основном удовлетворяется за счет импорта, что делает актуальной разработку отечественных аналогов. Прямой перенос зарубежных технологий на отечественное производство затруднен, поэтому возникает необходимость в установлении зависимостей, позволяющих управлять свойствами на стадии проектирования и производства.

Представлена классификация текстильных материалов с полимерным покрытием и проанализированы применяемые типы текстильных основ и полимерные покрытия. Показано, что для материалов одежного назначения ткань саржевого переплетения обеспечивает необходимую размерную стабильность и драпируемость, а полиуретановое покрытие позволяет формировать пористую структуру, сохраняющую эластичность при отрицательных температурах и не содержащую мигрирующих добавок. Анализ способов нанесения покрытия позволил выявить преимущества шаберного способа с нанесением вспененной композиции, а его технологические параметры определены как управляемые факторы, создающие основу для прогнозирования свойств.

Анализ нормативной документации позволил установить, что стандарты на ткани с полиуретановым покрытием одежного назначения отсутствуют, а в документах на близкие по структуре группы материалов перечень показателей, методы оценки и нормируемые значения различаются, что исключает прямое сопоставление с ними. Показано, что для новых материалов важна оценка устойчивости к внешним воздействиям, а с точки зрения технологичности при пошиве значимой является проблема прорубаемости материалов с покрытием, для оценки которой стандартизованные методики отсутствуют.

На основании анализа литературы сформулированы цель, задачи и основные направления исследования по теме диссертации.

Во второй главе определены объекты и методы исследования работы. На ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» (далее – БПХО) на сушильно-ширильной машине для заключительной отделки тканей с узлом покрытия шаберного типа (рисунок 1) получены ткани с полиуретановым покрытием одежного назначения. В качестве основы использовали хлопчатобумажную ткань саржевого переплетения поверхностной плотностью 170 г/м^2 , а в качестве лицевого слоя – полиуретановую композицию.

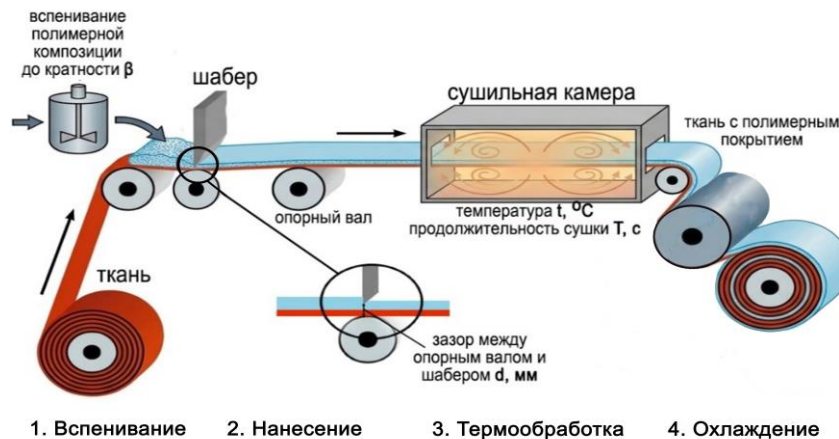


Рисунок 1 – Схема шаберного способа формирования ткани с полимерным покрытием

Для сравнительного анализа выбраны импортные (Китай, Россия, Корея) ткани саржевого переплетения с полиуретановым или поливинилхлоридным покрытием аналогичного назначения и схожей структуры.

Характеристики исследуемых образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых образцов

Показатель	Шифр образца							
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
Поверхностная плотность, г/м^2	260	340	310	350	390	500	280	430
Толщина полимерного слоя, мкм	150	450	350	530	720	400	170	410
Общая толщина, мкм	500	800	650	900	910	700	450	710
Страна-производитель	Беларусь, «БПХО»					Россия	Корея	Китай

Выбраны методики и средства, позволяющие за достаточно короткое время и с необходимой точностью осуществить контроль основных показателей качества тканей с полиуретановым покрытием.

В третьей главе разработана номенклатура показателей качества тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения. Формирование номенклатуры осуществлялось на основе комплексного подхода, рассматривающего качество в трех аспектах: соответствие нормативной документации, удовлетворение ожиданий потребителя и производителя. Для учета требований нормативной

документации проанализированы положения технического регламента ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности» и стандартов на близкие по структуре и аналогичного назначения материалы: искусственные кожи одежного назначения, дублированные и текстильные материалы с полимерной мембраной. Из сформированного перечня единичных показателей методом экспертных оценок определены наиболее значимые. Для выявления потребительских предпочтений применена методология QFD с построением «Дома качества», позволившая перевести ожидания потребителей в характеристики материала. По результатам определены 16 показателей, из которых по рассчитанной относительной важности выбраны наиболее значимые. Разработанная номенклатура включает 13 показателей, из которых в качестве определяющих выделены воздухопроницаемость, паропроницаемость, жесткость и стойкость к истиранию. Данные показатели отражают специфику текстильных материалов с полимерным покрытием одежного назначения и одновременно являются управляемыми через технологические параметры формирования покрытия. Отдельно выделен показатель «прорубаемость», характеризующий технологичность материала при пошиве.

В результате анализа и обобщения факторов, влияющих на качественные показатели тканей с полиуретановым покрытием, разработан алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием (рисунок 2).



Рисунок 2 – Алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием

Алгоритм объединяет этапы получения тканей с полиуретановым покрытием, что определяет выбор компонентов и технологических параметров исходя из требований к материалу. Заложенный принцип обратной связи позволяет при отклонении показателей качества от целевых значений корректировать технологические режимы и состав компонентов на более ранних этапах.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по установлению зависимостей воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости и стойкости к истиранию тканей с полиуретановым покрытием от технологических параметров их формирования, а также обоснован выбор рациональных режимов. После реализации первых двух этапов алгоритма (рисунок 2) следующим является моделирование свойств. Исходя из анализа технологии нанесения покрытия шаберным способом, в качестве управляемых факторов выбраны: кратность пены и величина зазора между опорным валом и шабером, определяющие структуру и толщину покрытия на стадии нанесения, а также температура и продолжительность термообработки, определяющие завершающую стадию структурообразования полимерного слоя.

Выбран диапазон варьирования кратности пены полиуретановой композиции $\beta = 1,5 - 2,5$, обеспечивающий формирование равномерного пористого покрытия. Проведен анализ распределения газовой дисперсной фазы по радиусу, доказано соответствие эмпирического распределения логнормальному закону. Установлено, что с увеличением кратности от 1,0 до 2,5 плотность композиции снижается с $0,95 \text{ г/см}^3$ до $0,39 \text{ г/см}^3$, динамическая вязкость возрастает с $239 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ до $436 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, средний радиус газовой дисперсной фазы увеличивается с $95,8 \text{ мкм}$ до 150 мкм .

В результате исследований получены кинетические кривые конвективной сушки тканей с полиуретановым покрытием для трех значений кратности пены (1,5, 2,0, 2,5). Установлено, что для кратности 2,5 сушка протекает в периоде падающей скорости, а для 1,5 и 2,0 – постоянной. Определены температурно-временные режимы сушки для каждой кратности, обеспечивающие полное удаление влаги при отсутствии дефектов покрытия: для $\beta = 1,5$ температура $100 \text{ }^\circ\text{C}$, продолжительность 300 с, для $\beta = 2,0$ – $80 \text{ }^\circ\text{C}$, 240 с, для $\beta = 2,5$ – $60 \text{ }^\circ\text{C}$, 180 с.

С применением двухфакторного эксперимента, интервалы и уровни варьирования входных факторов которого представлены в таблице 2, получены математические модели ($R^2 > 0,94$), описывающие зависимости определяющих показателей качества от параметров нанесения покрытия (таблица 3).

Таблица 2 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Кратность пены (β_n), X_1	1,5	2	2,5	0,5
Величина зазора между опорным валиком и шабером (h), мм, X_2	0,3	0,5	0,7	0,2

На рисунке 3 представлены поверхности отклика для воздухопроницаемости (рисунок 3а) и стойкости к истиранию (рисунок 3б) как наиболее информативные с точки зрения эксплуатационных требований к одежде.

Таблица 3 – Зависимости выходных параметров от кратности и зазора

Показатель	Математическая модель	R^2
Паропроницаемость (П)	$\Pi = 13,64 + 0,628 \cdot X_1 + 1,735 \cdot X_2 - 0,608 \cdot X_2^2$	0,988
Воздухопроницаемость (В)	$B = 34,93 + 4,53 \cdot X_1 + 13,63 \cdot X_2 - 8,03 \cdot X_2^2$	0,993
Жесткость в продольном направлении (Gpr)	$Go = 7,02 - 0,62 \cdot X_1 + 0,78 \cdot X_2$	0,978
Жесткость в поперечном направлении (Gpo)	$Gu = 6,78 - 0,32 \cdot X_1 + 1,23 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_2^2$	0,996
Стойкость к истиранию (Is)	$Is = 263,78 - 58 \cdot X_1 + 35,17 \cdot X_2$	0,997

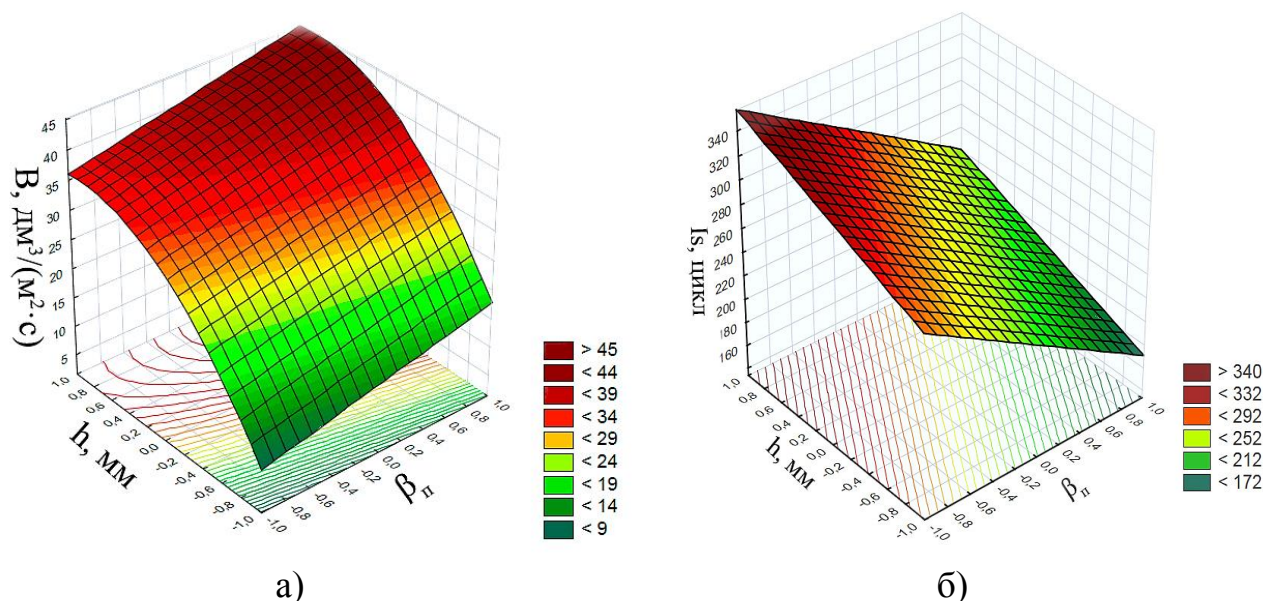


Рисунок 3 – Зависимости свойств тканей с полиуретановым покрытием от кратности пены и величины зазора

Для выбора рациональных режимов ориентировались на общие требования к материалам для одежды: обеспечение комфортного микроклимата за счет воздухо- и паропроницаемости при сохранении формоустойчивости и износостойкости, необходимых для пошива и эксплуатации. Действующие нормативные документы не в полной мере учитывают специфику современных тканей с полиуретановым покрытием, в связи с чем приоритет отдавался достижению наилучшего сочетания определяющих показателей качества. По результатам исследований в качестве рациональных параметров нанесения покрытия определены кратность пены композиции 2,0, которая обеспечивает показатели воздухопроницаемости 36,6 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и паропроницаемости 13,2 $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а также зазор между опорным валом и шабером 0,5 мм, который формирует толщину покрытия 294 мкм и среднюю жесткость материала 7 сН.

Свойства готового материала зависят от режимов термообработки, которые влияют на скорость удаления влаги, формирование пористой структуры и адгезию. Для количественной оценки этого влияния проведен двухфакторный эксперимент при фиксированных кратности пены (2,0) и зазоре (0,5 мм). Интервалы и уровни варьирования входных факторов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Уровни и интервалы варьирования факторов

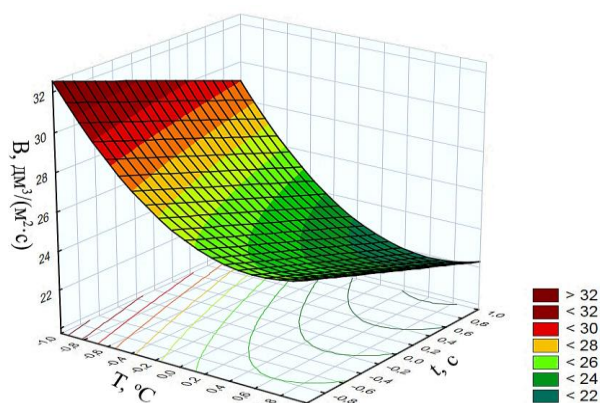
Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Температура термообработки, T (°C), X_3	60	80	100	20
Продолжительность термообработки, t (с), X_4	180	240	300	60

Полученные модели (таблица 5), описывающие зависимости определяющих показателей качества от температуры и продолжительности термообработки, характеризуются высокими значениями коэффициентов детерминации ($R^2 > 0,95$).

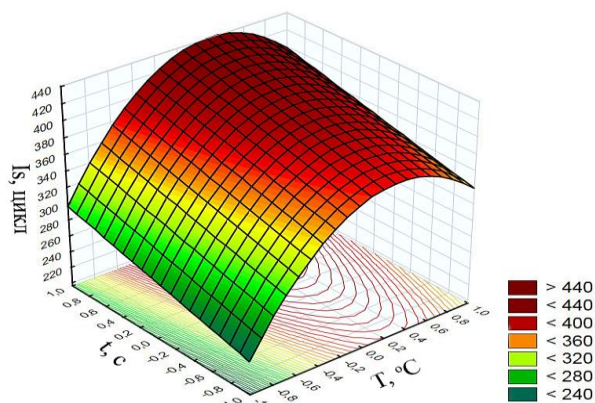
На рисунке 4 представлены поверхности отклика для воздухопроницаемости (рисунок 4а) и стойкости к истиранию (рисунок 4б) как наиболее информативные с точки зрения эксплуатационных требований к материалам одежного назначения.

Таблица 5 – Зависимости выходных параметров от режимов термообработки

Показатель	Математическая модель	R^2
Паропроницаемость (П2)	$П2 = 9,78 - 1,3 \cdot X_3 + 0,53 \cdot X_4 + 0,45 \cdot X_3 \cdot X_4$	0,989
Воздухопроницаемость (В2)	$В2 = 24,63 - 3,37 \cdot X_3 - 1,75 \cdot X_4 + 2,77 \cdot X_3^2$	0,984
Жесткость в продольном направлении (Gpr2)	$Go2 = 12,63 + 1,8 \cdot X_3 + 1,1 \cdot X_4$	0,950
Жесткость в поперечном направлении (Gpo2)	$Gu2 = 10,19 + 0,77 \cdot X_3 + 0,55 \cdot X_4$	0,952
Стойкость к истиранию (Is2)	$Is2 = 403,33 + 50,8 \cdot X_3 + 30 \cdot X_4 - 85,83 \cdot X_3^2$	0,954



а)



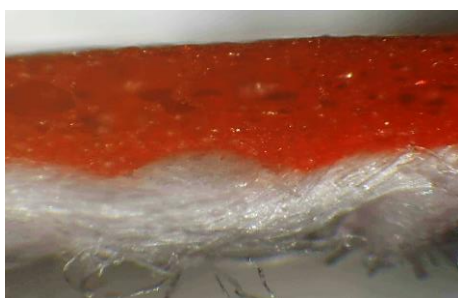
б)

Рисунок 4 – Зависимости свойств тканей с полиуретановым покрытием от температуры и продолжительности термообработки

Определены рациональные технологические режимы, обеспечивающие наилучшее сочетание значений определяющих показателей качества для материалов одежного назначения: кратность пены 2,0, зазор 0,5 мм, температура термообработки 70–80 °C, продолжительность термообработки 200–240 с. При данном режиме достигаются значения воздухопроницаемости 27–30 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, паропроницаемости 10,5–11,0 $\text{мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$, жесткости в продольном направлении 4,7–5,7 сН и в поперечном 5,7–6,2 сН, стойкости к истиранию 300–350 циклов.

Полученные математические модели использованы для прогнозирования свойств тканей с полиуретановым покрытием. Показана возможность расчета единичных показателей качества по заданным режимам, а также определения рациональных режимов для достижения требуемых свойств. Экспериментальная проверка моделей подтвердила их адекватность, средняя относительная погрешность составила 3,1–4,7 %.

В пятой главе представлены результаты исследования тканей с полиуретановым покрытием, полученных по рациональным технологическим режимам, обоснованным в главе 4, и определены их эксплуатационные свойства. В соответствии с разработанным алгоритмом проектирования (глава 3) четвертый этап предусматривает изготовление опытной партии и оценку качества. Поэтому в производственных условиях БПХО наработана партия опытно-экспериментальных образцов тканей с полиуретановым покрытием (таблица 1). В результате исследования свойств и микроскопического анализа их структуры установлено, что вспененная полиуретановая композиция равномерно проникает в тканую основу, формируя покрытие с четкой границей раздела (рисунок 5) и следующими показателями: паропроницаемость 15–16,5 мг/(см²·ч), воздухопроницаемость 20–26,8 дм³/(м²·с) с максимумом при толщине покрытия 450–530 мкм, гигроскопичность 8–9 %, прочность связи покрытия с основой высокая, материал не расслаивается, а с увеличением толщины покрытия увеличивается и стойкость к истиранию (298–497 циклов).



**Рисунок 5 –
Микрофотография**

поперечного среза образца

Исследовано влияние внешних факторов, имитирующих условия транспортировки, хранения и эксплуатации: повышенные и пониженные температуры, многократные мокрые обработки. Установлено, что при нагреве до 70 °С образцы с толщиной покрытия до 350 мкм сохраняют устойчивость к слипанию (1 балл), а с толщиной 530–720 мкм проявляют незначительное локальное слипание (2 балла) без разрушения покрытия. Воздействие пониженной температуры (–20 °С) приводит к снижению стойкости к истиранию на 5–7 %, разрывной нагрузки на 4,5–9,2 % (продольное) и 2,7–12,8 % (поперечное). При нагреве до 70 °С стойкость к истиранию падает на 17–23 % (для образцов 150–530 мкм) и на 10 % (для 720 мкм), разрывная нагрузка снижается на 8,2–11,8 % и 8,5–14,8 %. Гигиенические свойства (паро- и воздухопроницаемость) стабильны в диапазоне от –20 °С до +70 °С, отклонения менее 5 %.

Многократные мокрые обработки, проведенные по режиму 15 циклов стирки при 40 °С, установили, что наиболее интенсивное изменение показателей происходит после первых пяти: воздухопроницаемость снижается в среднем на 13 %, после чего темп изменений замедляется. После 20 циклов воздухопроницаемость снижается на 9–18 %, стойкость к истиранию менее чем на 10 %, усадка в продольном направлении менее 3,5 %, в поперечном 0,7 %. Установлено, что при использовании режима (40 °С, мягкое моющее средство, без

отжима, сушка в расправленном виде) материалы сохраняют целостность покрытия, а изменение свойств не препятствует дальнейшей эксплуатации по назначению.

В результате экспериментальных исследований свойств тканей с полиуретановым покрытием выявлено, что импортные образцы аналогичного назначения со схожей структурой характеризуются гигроскопичностью 0–6,5 %, низкой паропроницаемостью 1,0–5,0 мг/(см²·ч) и демонстрируют воздухопроницаемость, не определяемую применяемым методом. Критерий комфортности K_o для образцов №1–№5 составляет 0,22–0,25, что соответствует среднему уровню комфорта, в то время как для импортных образцов этот показатель не превышает 0,1.

Предложен новый метод комплексной оценки качества, основанный на основной теореме арифметики. Комплексный показатель представляется в виде произведения степеней простых чисел. За каждым единичным показателем закрепляется простое число из возрастающего ряда, а переход от абсолютных значений к рангам осуществляется по разработанным шкалам. Поскольку вычисление комплексного показателя приводит к громоздким числовым значениям, осуществлен переход к его логарифмическому представлению, что упрощает расчеты и не меняет порядок ранжирования образцов. Для количественной оценки степени приближения образца к эталону предложен коэффициент K . Преимущество метода заключается в однозначном обратном разложении: по комплексному показателю можно восстановить исходные значения единичных, выявить вклад каждого свойства в итоговую оценку и, при отклонении, целенаправленно корректировать соответствующий технологический параметр. В отличие от средневзвешенных, предложенный метод не требует назначения численных весовых коэффициентов. Простые числа задают вес показателя через свои логарифмы, причем эти веса математически фиксированы и не требуют согласования численных значений.

Ранжирование образцов по величине комплексного показателя, рассчитанного новым методом и средневзвешенным, дало практически идентичный порядок (таблица 6). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена $R = 0,88$ свидетельствует о высокой степени согласованности подходов и подтверждает адекватность предложенного метода.

Таблица 6 – Результаты комплексной оценки с применением двух методов

Образец	Метод средневзвешенного арифметического	Ранг R_x	Метод простых чисел	Ранг R_y	Разность рангов d $R_x - R_y$
№1	0,851	1	32,115	2	1
№2	0,831	2	32,557	1	1
№3	0,824	4	31,458	3	1
№4	0,789	5	30,206	4	1
№5	0,825	3	29,107	5	2
№6	0,362	7	13,090	8	1
№7	0,378	6	17,537	6	0
№8	0,220	8	14,241	7	1

Наряду с эксплуатационными свойствами, важное значение имеет технологичность материала при пошиве. Для тканей с полимерным покрытием одной из главных проблем является прорубаемость. Кроме того, полиуретановые покрытия, благодаря высокому содержанию физических связей, потенциально способны к релаксационному восстановлению. В отличие от химического самовосстановления, здесь происходит физическое сближение краев прокола.

Исследования, проведенные с использованием игл трех типов заточки (R, SPI, LL) и трех диаметров (№80, №90, №100), показали, что определяющим фактором является толщина покрытия: с ее увеличением скорость и степень восстановления увеличиваются. Установлено, что иглы с заточкой острия LL обеспечивают наиболее быстрое восстановление покрытия, однако при их использовании разрывная нагрузка снижается на 17–19 %. С учетом требований к эксплуатационной надежности одежды рациональным является применение игл с заточкой R, обеспечивающих минимальную потерю прочности при приемлемой степени восстановления покрытия.

Установлено, что кинетика релаксационного восстановления для образцов с толщиной полиуретанового слоя 350–720 мкм имеет двухпериодный характер:

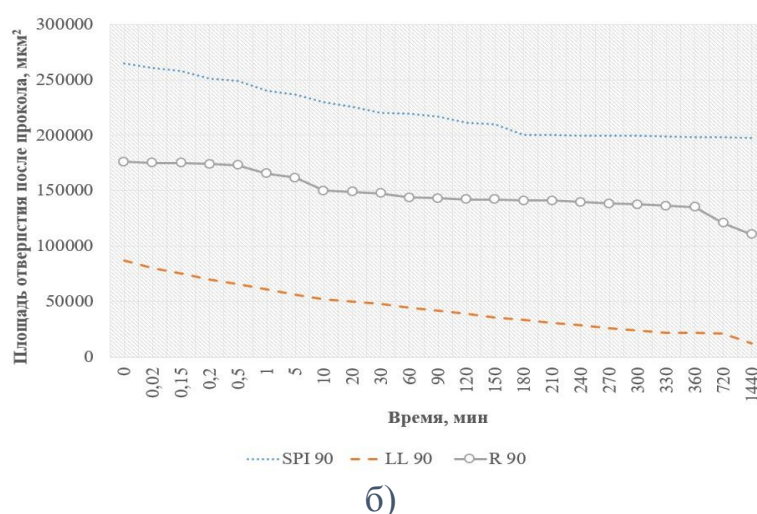
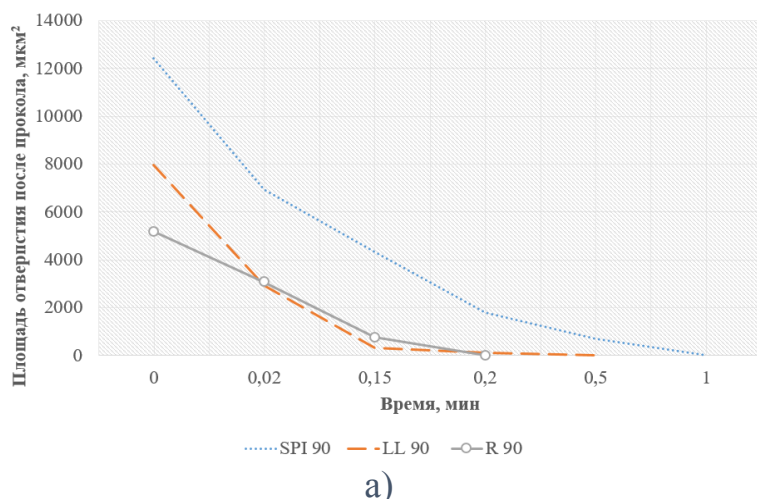


Рисунок 6 – Кинетика релаксационного восстановления полиуретанового слоя после прокола швейной иглой

период постоянной скорости восстановления и период замедления процесса (рисунок 6 а). Для тонких образцов с толщиной полиуретанового слоя 150 мкм период постоянной скорости выражен слабо (рисунок 6 б).

Установлено, что прокол, формируемый с швейной ниткой, увеличивает начальную площадь повреждения и замедляет процесс восстановления. Исследования с удалением нитки и последующим механическим нагружением подтвердили, что восстановленный участок сохраняет целостность при нагрузках, характерных для эксплуатации изделий.

Установлено, что импортные образцы не способны к релаксационному восстановлению, площадь

прокола за 24 часа уменьшается не более чем на 10 %.

На основе проведенных исследований разработана методика оценки способности к восстановлению целостности полимерного слоя после прокола швейной иглой.

Сущность методики заключается в формировании повреждения, визуальной оценке по разработанным шкалам с верхней и нижней подсветкой образца и последующей количественной оценке степени восстановления с отнесением к одной из трех категорий (I – способен, II – частично способен, III – не способен).

В шестой главе представлены результаты практической апробации.

Разработаны технические условия «Ткани одежные с полиуретановым покрытием» ТУ ВУ 200166488.205-2023, которые внедрены на ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение». Документ устанавливает нормы показателей и методы контроля, что позволяет выпускать продукцию с гарантированным уровнем качества и осуществлять ее оценку. Проведена производственная апробация предложенных технологических режимов формирования тканей с полиуретановым покрытием в условиях ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение». Нарботанная опытно-экспериментальная партия материала использована для изготовления коллекции одежды дизайнерами учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», которая демонстрировалась на выставках Республики Беларусь и Российской Федерации, где получили положительную оценку специалистов и подтвердили технологичность материала.

Показана перспективность расширения области применения тканей с полиуретановым покрытием за пределы одежного ассортимента. Проведенный анализ рынка текстильных материалов показал, что ткани с полиуретановым покрытием занимают значительную долю при производстве галантерейных изделий и мебели (глава 1). С применением разработанного алгоритма проектирования тканей с полиуретановым покрытием (глава 3) для материалов мебельного и галантерейного назначения разработаны номенклатуры показателей качества и проекты технических условий (ТУ ВУ 200166488.203-2023 на ткани мебельные, ТУ ВУ 200166488.204-2023 на ткани галантерейные), что подтверждено актом внедрения в производство и титульными листами технических условий. Из опытных тканей галантерейного назначения изготовлены образцы сумок.

Разработанная методика оценки способности к восстановлению целостности полимерного слоя после прокола швейной иглой прошла апробацию в производственных условиях ОАО «Красный Октябрь». По результатам межлабораторных сличений подтверждена достоверность и воспроизводимость разработанной методики.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» и используются при подготовке студентов соответствующих специальностей, что подтверждено актами внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

1. Разработан алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, включающий этапы получения материала и обоснованную номенклатуру показателей качества, что в совокупности определяет выбор компонентов и параметров технологического процесса исходя из требований к материалу и обеспечивает направленное формирование его эксплуатационных свойств [1–А, 5–А, 13–А, 15–А, 18–А, 20–А, 22–А, 24–А, 25–А, 30–А, 33–А].

2. Получены математические зависимости изменения воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости, стойкости к истиранию тканей с полиуретановым покрытием при варьировании технологических режимов. На основе зависимостей определены рациональные режимы процесса формирования покрытия: кратность пены 2,0, продолжительность 200–240 с и температура термообработки 70–80 °С, зазор между опорным валом и шабером 0,5 мм, обеспечивающие повышенные показатели воздухопроницаемости и паропроницаемости с требуемой жесткостью и стойкостью к истиранию, что соответствует назначению материалов для одежды [2–А, 3–А, 12–А, 14–А, 17–А, 19–А, 23–А, 27–А, 28–А, 31–А, 35–А, 46–А, 49–А].

3. Разработан новый метод комплексной оценки качества, основанный на мультипликативном свертывании единичных показателей, закодированных простыми числами, обеспечивающий возможность однозначной факторизации комплексного показателя в исходный набор единичных [11–А].

4. Установлены закономерности изменения воздухопроницаемости, паропроницаемости, стойкости к истиранию тканей с толщиной полиуретанового покрытия 150–720 мкм после температурных воздействий -20 °С, +35 °С, +70 °С и многократных мокрых обработок, позволяющие прогнозировать изменение воздухопроницаемости, паропроницаемости, стойкости к истиранию в процессе эксплуатации изделия [4–А, 6–А, 7–А, 10–А, 16–А, 21–А, 26–А, 29–А, 32–А, 34–А, 36–А, 37–А].

5. Получены кинетические закономерности восстановления целостности полиуретанового покрытия ткани толщиной 150–720 мкм после прокола швейными иглами с различной формой заточки острия (R, SPI, LL) и диаметром стержня иглы (80, 90, 100) [8–А, 9–А, 38–А, 39–А, 40–А, 41–А, 42–А, 43–А, 44–А, 45–А, 47–А, 48–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

1. Разработана и внедрена в производство номенклатура показателей качества тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения, позволяющая производителям контролировать и регламентировать эксплуатационные свойства материала [Акт об использовании (внедрении) НИР на ОАО «БПХО», 23.11.2022 г.; акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 13.11.2024 г.].

2. Разработаны и внедрены в производство технические условия, распространяющиеся на ткани одежные с полиуретановым покрытием, устанавливающие нормы и методы контроля для промышленного выпуска материала [ТУ ВУ 200166488.205-2023 Ткани одежные с полиуретановым покрытием].

3. Разработан и внедрен в учебный процесс УО «ВГТУ» метод комплексной оценки качества тканей с полиуретановым покрытием, основанный на мультипликативном свертывании единичных показателей с применением простых чисел, который может быть использован для объективного сопоставления и ранжирования материалов при постановке продукции на производство [Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 12.12.2025 г.].

4. Определены и внедрены в производство рациональные технологические режимы формирования полиуретанового покрытия, которые обеспечивают требуемый комплекс воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости и стойкости к истиранию для материалов одежного назначения [Акт об использовании (внедрении) НИР на ОАО «БПХО», 23.11.2022 г.; акты о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 16.12.2022 г., 13.11.2023 г., 29.11.2023 г.].

5. На основе установленных закономерностей изменения свойств после температурных воздействий и многократных мокрых обработок предложены рекомендации по режимам ухода за изделиями из тканей с пористым полиуретановым покрытием, позволяющие сохранять их свойства в процессе эксплуатации [Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 13.11.2023 г.].

6. Разработана и апробирована в производственных условиях методика оценки способности к восстановлению целостности полимерного покрытия ткани после прокола швейной иглой, позволяющая осуществить выбор режимов образования ниточных соединений [Акт об апробации методики, 18.06.2025 г.; акты о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 23.04.2025 г., 03.11.2025 г.].

7. На основе результатов исследования релаксационного восстановления покрытия предложены рекомендации по подбору геометрии швейной иглы для тканей с полиуретановым слоем одежного назначения, позволяющие минимизировать прорубаемость и сохранить целостность лицевой поверхности изделия [Акт о внедрении НИОКР в учебный процесс УО «ВГТУ» от 13.11.2025 г.].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных рецензируемых журналах:

1–А. Марущак, Ю. И. Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств экокож / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, И. А. Петюль // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2023. – № 2 (404). – С. 103–111.

2–А. Марущак, Ю. И. Зависимость физико-механических свойств экокож от условий формирования полимерного покрытия / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова, В. Ю. Сергеев // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2023. – № 1 (44). – С. 102–113.

3–А. Ясинская, Н. Н. Влияние кратности вспенивания полиуретановой композиции и толщины нанесенного слоя на потребительские свойства искусственных кож / Н. Н. Ясинская, Ю. И. Марущак, Н. В. Скобова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 2 (410). – С. 225–232.

4–А. Марущак, Ю. И. Сравнительная оценка эргономических свойств тканей с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2024. – № 2 (48). – С. 9–17.

5–А. Марущак, Ю. И. Исследование требований потребителей к тканям с полиуретановым покрытием с применением методологии QFD / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, И. А. Петюль // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2024. – Т. 67, № 3. – С. 94–99.

6–А. Марущак, Ю. И. Влияние многократных стирок на физико-механические свойства экокож / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2024. – № 3 (49). – С. 9–17.

7–А. Марущак, Ю. И. Влияние внешних факторов на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2024. – № 4 (50). – С. 49–58.

8–А. Марущак, Ю. И. Разработка методики оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, И. А. Петюль // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2025. – № 2 (52). – С. 44–54.

9–А. Марущак, Ю. И. Оценка самовосстановления целостности полиуретанового покрытия ткани после прокола швейной иглой / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2025. – Т. 72, № 2. – С. 35–42.

10–А. Марущак, Ю. И. Сравнительная оценка уровня комфортности натуральных и искусственных кож одежного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н.

Ясинская, Ю. С. Иванова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2026. – № 1 (421). – С. 132–141.

11–А. Марущак, Ю. И. Применение теории простых чисел в построении комплексного показателя качества текстильных материалов с полимерным покрытием / Ю. И. Марущак, И. А. Петюль, Н. Н. Ясинская, В. С. Башметов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2026. – № 1 (55). – С. 38–47.

12–А. Марущак, Ю. И. Моделирование и прогнозирование потребительских свойств тканей с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, А. Н. Бизюк, А. А. Кузнецов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2026. – № 1 (55). – С. 57–67.

Материалы конференций:

13–А. Марущак, Ю. И. Современные ткани с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Исследования ВКР – в практику профессиональной жизни : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. межвуз. конф., г. Москва, 31 окт. 2022 г. : в 2 ч. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: Т. В. Бутко, Е. В. Лунина, Е. А. Чаленко. – М., 2023. – Ч. 1. – С. 111–115.

14–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния температуры сушки на качество тканей с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Легкая промышленность: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 29–30 нояб. 2022 г. / Ом. гос. техн. ун-т ; науч. ред. М. А. Чижик ; редкол.: И. И. Шалмина [и др.]. – Омск, 2022. – С. 52–57.

15–А. Марущак, Ю. И. «Экокожи» с PU покрытием, как экологическая альтернатива натуральным козам / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Княгинино, 23 марта 2023 г. / Нижегород. гос. инж.-экон. ун-т ; редкол.: Д. В. Ганин [и др.]. – Княгинино, 2023. – С. 57–60.

16–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния продолжительности воздействия низких температур на физико-механические свойства тканей с PU покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Кострома, 23–24 марта 2023 г. : в 2 ч. / Костром. гос. ун-т ; редкол.: С. А. Шорохов [и др.]. – Кострома, 2023. – Ч. 1. – С. 323–327.

17–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния кратности пены и времени сушки полимерного слоя на качество экокож / Ю. И. Марущак, Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2023) : сб. материалов Всерос. науч. конф. молодых исслед. с междунар. участием, Москва, 17–20 апр. 2023 г. : в 6 ч. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: А. В. Силаков [и др.]. – М., 2023. – Ч. 2. – С. 238–242.

18–А. Марущак, Ю. И. Разработка технических условий на ткани с PU-покрытием одежного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, И. А. Петюль // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции

преподавателей и студентов, Витебск, 19 апреля 2023 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2023. – Т. 1. – С. 472–474.

19–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния свойств пены на потребительские свойства материалов с покрытием / Ю. И. Марущак, Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 19 апреля 2023 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2023. – Т. 1. – С. 470–472.

20–А. Marushchak, J. I. Nouveaux tissus enduits de polyurethane = New polyurethane coated fabrics = Новые ткани с полиуретановым покрытием / J. I. Marushchak, N. N. Yasinskaya // Диалог поколений: Изучаем. Обучаем. Учимся = Dialogue of generations: Learn. Teach. Study : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 20–21 апр. 2023 г. : в 2 ч. / Высш. шк. технологий и энергетики С.-Петерб. гос. ун-та пром. технологий и дизайна ; под общ. ред. В. В. Кирилловой ; редкол.: А. М. Знаменская (отв. ред.) [и др.]. – СПб., 2023. – Ч. 2. – С. 81–86.

21–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния повышенных температур на свойства экокож / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК-2023) : сб. материалов нац. (с междунар. участием) молодежной науч.-техн. конф., Иваново, 24–27 апр. 2023 г. / Иванов. гос. политехн. ун-т ; редкол.: Е. В. Румянцев [и др.]. – Иваново, 2023. – С. 117–119.

22–А. Марущак, Ю. И. Инновационные ткани с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // The proceedings of the International scientific-practical conference on «The fourth industrial revolution and innovative technologies» dedicated to the 100th anniversary of the national leader Heydar Aliyev, Ganja, 3–4 May 2023 : in 4 vol. / Azerbaijan Technological Univ. – Ganja, 2023. – Vol. 2. – P. 72–74.

23–А. Марущак, Ю. И. Исследование конвективной сушки технических тканей с PU покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Всероссийский круглый стол с международным участием «Технический текстиль – основа научно-технического развития России» : сб. науч. тр., Москва, 23 мая 2023 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: С. С. Юхин, Н. А. Королева, Н. Е. Федорова. – М., 2023. – С. 28–32.

24–А. Марущак, Ю. И. Применение концепции «дом качества» для совершенствования качества экокож / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Теория и практика экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции : сб. науч. тр. 3-го Круглого стола с междунар. участием, Москва, 31 мая 2023 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: Ю. С. Шустов, А. В. Курденкова, Я. И. Буланов. – М., 2023. – С. 7–11.

25–А. Марущак, Ю. И. Многослойный композиционный текстильный материал одежного и галантерейного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы : сб. материалов XXVI Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-

2023», Иваново, 4–5 окт. 2023 г. / Иванов. гос. политехн. ун-т. – Иваново, 2023. – С. 148–153.

26–А. Марущак, Ю. И. Экокожи белорусского производства / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Беларусь–Китай: контуры инновационно-технологического сотрудничества : сб. материалов науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2023 г. / Науч.-технол. парк Бел. нац. техн. ун-та «Политехник» ; сост. М. А. Войтешонок. – Мн., 2023. – С. 149–150.

27–А. Марущак, Ю. И. Оценка свойств полиуретановой композиции для формирования экокож / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 26–27 окт. 2023 г. / Бел.-Рос. ун-т ; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2023. – С. 69.

28–А. Марущак, Ю. И. Свойства пенообразной структуры для формирования полиуретанового покрытия текстильного композиционного материала / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Легкая промышленность: проблемы и перспективы : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Омск, 22–23 нояб. 2023 г. / Ом. гос. техн. ун-т ; науч. ред. М. А. Чижик ; редкол.: И. И. Шалмина [и др.]. – Омск, 2023. – С. 76–81.

29–А. Марущак, Ю. И. Оценка паропроницаемости и воздухопроницаемости экокож различных производителей / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности : сб. науч. тр. 4-го Круглого стола с междунар. участием, Москва, 30 нояб. 2023 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: Ю. С. Шустов, А. В. Курденкова, Я. И. Буланов. – М., 2024. – С. 89–93.

30–А. Марущак, Ю. И. Искусственный многослойный материал одежного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп. IV Междунар. Косыгинского Форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета», Москва, 20–22 февр. 2024 г. : в 2 ч. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: В. С. Белгородский [и др.]. – М., 2024. – Ч. 1. – С. 295–301.

31–А. Марущак, Ю. И. Особенности процесса сушки ткани со вспененным полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Повышение энергоресурсоэффективности, экологической и технологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп., посвящ. 120-летию со дня рождения П. Г. Романкова (ISTS «EESTE-2024»), четвертого Междунар. Косыгинского форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета», посвящ. 120-летию со дня рождения А. Н. Косыгина, Москва, 20–22 февр. 2024 г. : в 2 т. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина. – М., 2024. – Т. 1. – С. 308–311.

32–А. Марущак, Ю. И. Исследование стойкости экокож различных производителей к механическим воздействиям / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская //

Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Кострома, 20–22 марта 2024 г. / Костром. гос. ун-т ; редкол.: С. А. Шорохов (пред.) [и др.]. – Кострома, 2024. – С. 338–342.

33–А. Марущак, Ю. И. Экокожа: главный тренд современности / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Инновации и технологии к развитию теории современной моды «Мода (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)» : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Федору Максимовичу Пармону, Москва, 8–10 апр. 2024 г. : в 3 ч. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: В. С. Белгородский [и др.]. – М., 2024. – Ч. 2. – С. 30–35.

34–А. Марущак, Ю. И. Оценка гигиенических свойств экокож одежного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 18 апреля 2024 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2024. – Т. 1. – С. 448–451.

35–А. Марущак, Ю. И. Развитие технологий получения экокож одежного назначения / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, 18 апреля 2024 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2024. – Т. 1. – С. 362–364.

36–А. Марущак, Ю. И. Исследование гигиенических свойств экокож различных производителей / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК-2024) : сб. материалов нац. (с междунар. участием) молодежной науч.-техн. конф., 23–25 апр. 2024 г. / Иванов. гос. политехн. ун-т. – Иваново, 2024. – С. 1014–1016.

37–А. Marushchak, J. I. Analyse comparative de l'eco-cuir moderne de differents fabricants = Comparative analysis of modern eco-leather from different manufacturers = Сравнительный анализ современных экокож различных производителей / J. I. Marushchak, N. N. Yasinskaya // Диалог поколений: Изучаем. Обучаем. Учимся = Dialogue of generations: Learn. Teach. Study : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 23–24 апр. 2024 г. : в 2 ч. / Высш. шк. технологий и энергетики С.-Петерб. гос. ун-та пром. технологий и дизайна ; под общ. ред. В. В. Кирилловой. – СПб., 2024. – Ч. 1. – С. 35–41.

38–А. Марущак, Ю. И. Исследование способности тканей с полиуретановым покрытием к самовосстановлению целостности структуры после прокола иглой Microtex / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Легкая промышленность: проблемы и перспективы : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Омск, 27–28 нояб. 2024 г. / Ом. гос. техн. ун-т ; науч. ред. М. А. Чижик ; редкол.: И. И. Шалмина [и др.]. – Омск, 2024. – С. 136–141.

39–А. Марущак, Ю. И. Исследование кинетики самовосстановления целостности полимерного покрытия ткани после прокола иглой с SPI-заточкой / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская, И. А. Петюль // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Кострома, 26–28 марта 2025 г. / Костром. гос. ун-т ; редкол.:

С. А. Шорохов (пред.) [и др.]. – Кострома, 2025. – С. 429–432.

40–А. Marushchak, J. I. Effet d'une aiguille à coudre avec une pointe de coupe à angle gauche sur les défauts de couture = Effect of a sewing needle with a left-angled cutting point on sewing defects = Влияние швейной иглы с режущим острием с левым наклоном на дефекты шитья / J. I. Marushchak, N. N. Yasinskaya // Диалог поколений: Изучаем. Обучаем. Учимся = Dialogue of generations: Learn. Teach. Study : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 10–11 апр. 2025 г. : в 2 ч. / Высш. шк. технологий и энергетики С.-Петерб. гос. ун-та пром. технологий и дизайна ; под общ. ред. В. В. Кирилловой. – СПб., 2025. – Ч. 2. – С. 164–169.

41–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния геометрии иглы на способность полимерного покрытия ткани к самовосстановлению целостности структуры / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Материалы докладов 58-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов «Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества» (ESTES-2025)», посвященной 60-летию УО «ВГТУ», Витебск, 16 апреля 2025 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2025. – Т. 1. – С. 433–436.

42–А. Марущак, Ю. И. Влияние толщины универсальной швейной иглы на способность самовосстановления целостности полиуретанового покрытия тканей / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2025) : сб. материалов Всерос. науч. конф. молодых исслед. с междунар. участием, Москва, 17 апр. 2025 г. : в 6 ч. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: А. В. Силаков, И. В. Андросова, А. О. Бузькевич. – М., 2025. – Ч. 2. – С. 253–257.

43–А. Марущак, Ю. И. Оценка влияния формы заточки острия швейной иглы на способность к самовосстановлению целостности полимерного покрытия ткани / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК-2025) : сб. материалов нац. (с междунар. участием) молодежной науч.-техн. конф., Иваново, 22–24 апр. 2025 г. / Иванов. гос. политехн. ун-т. – Иваново, 2025. – С. 728–731.

44–А. Марущак, Ю. И. Исследование влияния параметров иглы с заточкой LL на способность к самовосстановлению полимерного покрытия ткани / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Актуальные направления развития текстильной и легкой промышленности в современных условиях : сб. науч. тр. II Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Москва, 27 мая 2025 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: С. С. Юхин, Н. А. Королева, Н. Е. Федорова. – М., 2025. – С. 27–31.

45–А. Марущак, Ю. И. Методика оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя ткани после прокола иглой / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы : сб. материалов XXVIII Междунар. науч.-практ. форума «SMARTEX-2025», Иваново, 9–11 окт. 2025 г. / Иванов. гос. политехн. ун-т [и др.]. – Иваново, 2025. – С. 91–96.

46–А. Марущак, Ю. И. Перспективы использования полиуретановых покрытий в текстильной промышленности / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Современные технологии создания и модифицирования полимерных и волокнистых материалов : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп., посвящ. 120-летию со дня рождения З. А. Роговина (XVII Роговинские чтения), V Междунар. Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук. Проблемы промышленного роста», Москва, 26–27 нояб. 2025 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: В. С. Белгородский [и др.]. – М., 2025. – С. 173–179.

Тезисы докладов конференций:

47–А. Марущак, Ю. И. Прорубаемость тканей с пористым полимерным покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах : тез. докл. V Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 9–10 дек. 2024 г. / С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна. – СПб., 2024. – С. 11.

48–А. Марущак, Ю. И. Развитие методов оценки регенеративных свойств полиуретанового покрытия ткани / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ-2025) : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 95-летию со дня основания «Воронежского государственного университета инженерных технологий», 35-летию общерос. обществ. орг. «Российская инженерная академия», Воронеж, 2–3 окт. 2025 г. / Воронеж. гос. ун-т инж. технологий. – Воронеж, 2025. – С. 146–148.

Прочие публикации:

49–А. Марущак, Ю. И. Оценка физико-механических свойств и прогнозирование эксплуатационных характеристик тканей с полиуретановым покрытием / Ю. И. Марущак, Н. Н. Ясинская // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2023» / Бел. гос. ун-т ; редкол.: А. Г. Баханович (пред.) [и др.]. – Мн. : БГУ, 2024. – С. 107–111.

РЕЗЮМЕ

Марущак Юлия Игоревна

Формирование и комплексная оценка свойств хлопчатобумажных тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения

Ключевые слова: полиуретан, алгоритм проектирования, комплексная оценка, одежда, кратность пены, эксплуатационные свойства, прорубаемость.

Цель работы: разработка научно обоснованных подходов к формированию заданных эксплуатационных свойств хлопчатобумажных тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения и метода комплексной оценки качества.

Методы исследования и использованная аппаратура: исследования выполнены с применением стандартизованных методов оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов с полимерным покрытием; для оценки паропроницаемости как функции обеспечения температурного гомеостаза использована нестандартизированная методика. Структура материалов изучалась методом оптической микроскопии на микроскопе Альтами MET5. Экспериментальные исследования по установлению зависимостей свойств от технологических параметров формирования покрытия проводились на лабораторной установке, моделирующей шаберный способ нанесения. Апробация разработанных режимов осуществлена в производственных условиях на сушильно-ширильной машине с узлом покрытия. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики с использованием программных пакетов Statistica и Maple.

Полученные результаты и их новизна: разработан алгоритм проектирования тканей с полиуретановым покрытием, включающий этапы формирования материала и обоснованную номенклатуру показателей качества. Предложен метод комплексной оценки качества с применением простых чисел. Получены математические зависимости воздухопроницаемости, паропроницаемости, жесткости и стойкости к истиранию от кратности пены, величины зазора между опорным валом и шабером, температуры и продолжительности термообработки. Установлены закономерности изменения определяющих показателей качества после температурных воздействий ($-20...+70$ °C) и многократных мокрых обработок. Впервые разработана методика оценки способности полиуретанового покрытия ткани к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой.

Рекомендации по использованию: полученные результаты могут быть использованы при входном контроле и оценке качества тканей с полимерным покрытием, при проектировании новых материалов с заданными свойствами.

Область применения: полученные результаты реализованы при производстве тканей с полиуретановым покрытием одежного назначения.

РЭЗЮМЭ

Марушчак Юлія Ігараўна

Фарміраванне і комплексная ацэнка ўласцівасцей баваўняных тканін з поліўрэтанавым пакрыццём адзежовага прызначэння

Ключавыя словы: поліўрэтан, алгарытм праектавання, комплексная ацэнка, адзенне, кратнасць пены, эксплуатацыйныя ўласцівасці, прасякальнасць.

Мэта работы: распрацоўка навукова абгрунтаваных падыходаў да фарміравання зададзеных эксплуатацыйных уласцівасцей баваўняных тканін з поліўрэтанавым пакрыццём адзення і метаду комплекснай ацэнкі якасці.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: даследаванні выкананы з ужываннем стандартызаваных метадаў адзнакі эксплуатацыйных уласцівасцяў тэкстыльных матэрыялаў з палімерным пакрыццём; для ацэнкі парапранікальнасці як функцыі забеспячэння тэмпературнага гемеастазу выкарыстана нестандартызаваная методыка. Структура матэрыялаў вывучалася метадам аптычнай мікраскапіі на мікраскопе Альтамі MET5. Эксперыментальныя даследаванні па ўсталяванні залежнасцяў уласцівасцяў ад тэхналагічных параметраў фармавання пакрыцця праводзіліся на лабараторнай усталеўцы, якая мадэлюе шаберны спосаб нанясення. Апрабацыя распрацаваных рэжымаў ажыццёўлена ў вытворчых умовах на сушыльна-шырыльнай машыне з вузлом пакрыцця. Апрацоўка эксперыментальных даных ажыццяўлялася метадамі матэматычнай статыстыкі з выкарыстаннем праграмных пакетаў Statistica і Maple.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны алгарытм праектавання тканін з поліўрэтанавым пакрыццём, які ўключае этапы фарміравання матэрыялу і абгрунтаваную наменклатуру паказчыкаў якасці. Прапанаваны метады комплекснай адзнакі якасці з ужываннем простых лікаў. Атрыманы матэматычныя залежнасці паветрапранікальнасці, парапранікальнасці, калянасці і ўстойлівасці да ізаляцыі ад кратнасці пены, велічыні зазору паміж апорным валам і шаберам, тэмпературы і працягласці тэрмаапрацоўкі. Устаноўлены заканамернасці змены вызначальных паказчыкаў якасці пасля тэмпературных уздзеянняў ($-20 \dots +70$ °C) і шматразовых мокрых апрацовак. Упершыню распрацавана методыка ацэнкі здольнасці поліўрэтанавага пакрыцця тканіны да рэлаксацыйнага аднаўлення пасля праколу швейнай іголкай.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: атрыманыя вынікі могуць быць скарыстаны пры ўваходным кантролі і адзнацы якасці тканін з палімерным пакрыццём, пры праектаванні новых матэрыялаў з зададзенымі ўласцівасцямі.

Сфера прымянення: атрыманыя вынікі рэалізаваны пры вытворчасці тканін з поліўрэтанавым пакрыццём адзежовага прызначэння.

SUMMARY

Marushchak Yulia Igorevna

Formation and comprehensive evaluation of the properties of cotton fabrics with polyurethane coating for clothing purposes

Key words: polyurethane, design algorithm, comprehensive evaluation, cloth, foam expansion ratio, performance properties, cut-through properties.

Aim of the research: development of scientifically based approaches to the formation of specified performance properties of cotton fabrics with a polyurethane coating for clothing purposes and a method for comprehensive quality assessment.

Research methods and equipment used: the studies were conducted using standardized methods for assessing the performance properties of polymer-coated textile materials. A non-standardized methodology was used to assess vapor permeability as a function of temperature homeostasis. The structure of the materials was studied using optical microscopy on an Altami MET5 microscope. Experimental studies to establish the dependence of properties on coating formation process parameters were conducted on a laboratory setup simulating a doctor blade application method. The developed modes were tested under production conditions on a stenter drying machine with a coating unit. Experimental data were processed using mathematical statistics methods with the use of Statistica and Maple software packages.

The results obtained and their novelty: An algorithm for designing polyurethane-coated fabrics has been developed, including material formation stages and a substantiated nomenclature of quality indicators. A method for comprehensive quality assessment using prime numbers has been proposed. Mathematical relationships have been obtained for air permeability, vapor permeability, stiffness, and abrasion resistance as a function of foam expansion ratio, gap size between the support roller and the doctor blade, and heat treatment temperature and duration. Patterns of change in the key quality indicators after temperature exposure (-20 to +70 °C) and repeated wet treatments have been established. A method for assessing the ability of a polyurethane fabric coating to relax after being punctured by a sewing needle has been developed for the first time.

Recommendations for use: The obtained results can be used for incoming inspection and quality assessment of polymer-coated fabrics, as well as for designing new materials with specified properties.

Scope: The obtained results were implemented in the production of polyurethane-coated fabrics for clothing purposes.



**МАРУЩАК
ЮЛИЯ ИГОРЕВНА**

**ФОРМИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ С ПОЛИУРЕТАНОВЫМ
ПОКРЫТИЕМ ОДЕЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.19.01 – «Материаловедение производств текстильной и
легкой промышленности»

Подписано к печати 01.07.26. Формат 60×90 1/16. Усл. печ. листов 1,8.
Уч.-изд. листов 2,2. Тираж 90 экз. Заказ № 187

Отпечатано на базе издательского сектора учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
Распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.