

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 677.017.8

ИВАШКО
Екатерина Игоревна

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО 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: **Буркин Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»;
- Официальные оппоненты: **Кирсанова Елена Александровна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры материаловедения и товарной экспертизы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»;
- Акиндинова Наталья Станиславовна**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета дизайна 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 13.00 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 « 17 » июля 2026 г.

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



Н. В. Скобова

ВВЕДЕНИЕ

Надёжная защита работников от воды и осадков – обязательное требование безопасности, напрямую влияющее на здоровье и производительность труда. Главным фактором, обеспечивающим водозащитные и гигиенические свойства специальной одежды, являются характеристики применяемых материалов, поэтому изучение свойств современных материалов является актуальной научно-прикладной задачей.

В настоящее время появляется всё больше материалов функционального назначения. Среди них выделяются влагозащитные текстильные материалы, которые находят широкое применение при изготовлении верхней одежды, защищающей от неблагоприятных факторов окружающей среды. В зависимости от структуры влагозащитные материалы обладают рядом уникальных свойств, которые определяют их успешное использование в различных сферах лёгкой промышленности – производстве специальной одежды для защиты от воды и растворов нетоксичных веществ, общих производственных загрязнений, пониженных температур и ветра. Однако широкое использование новых влагозащитных материалов в легкой промышленности сдерживается недостатком информации об их свойствах и ограниченными сведениями о стабильности уровня водонепроницаемости в процессе эксплуатации изделий из них, который усугубляется негативным опытом некорректного применения влагозащитных материалов различных структур.

Для производства высококачественных изделий необходим научный подход к конфекционированию материалов, особенно в случае, когда материалы изначально являются продуктом высоких технологий, предполагающим разумное применение, основанное на результатах научных исследований. Для создания конкурентоспособной и надежной продукции, обладающей стабильным уровнем водонепроницаемости и паропроницаемости, производителям не хватает универсальных средств, позволяющих исследовать определяющие показатели свойств как материалов, так и готовых изделий до и после физико-механических нагрузок или их лабораторного моделирования в условиях, приближенных к эксплуатационным. Методы и средства определения водонепроницаемости и паропроницаемости материалов, установленные существующими техническими нормативными правовыми актами, являются устаревшими, не учитывающими условий, в которых впоследствии будут эксплуатироваться изделия из влагозащитных материалов. Решением является развитие методической и приборной базы исследования водонепроницаемости и паропроницаемости влагозащитных материалов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Тема исследования соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы пункт 2 «Инновационные технологии в промышленности» (Указ Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 №135). Диссертационная работа выполнялась в соответствии с темами научно-исследовательских работ по государственным программам научных исследований: «Разработка методики оценки и прогнозирование свойств полимерных композиционных слоистых материалов» по заданию 6.81 «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Полимерные материалы и технологии» (рег. №20201558, 2020 – Г/Б – 362), «Исследование структуры и свойств многофункциональных композиционных текстильных материалов, содержащих полимерный слой, модифицированный различными наполнителями, с целью разработки научных основ проектирования и изготовления новых материалов с заданными свойствами для изделий легкой промышленности» по заданию 8.4.2.1 «Разработка структуры и технологии производства многофункциональных текстильных материалов и композитов с заданными свойствами», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы» (рег. № 20211002, 2021 – Г/Б – 373) и в соответствии с темой научно-исследовательской работы кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» ВПД 027 «Совершенствование и разработка методов и средств оценки технологических и эксплуатационных свойств материалов для изделий лёгкой промышленности» (ГР № 20211334).

Цель и задачи исследования. *Целью* диссертационной работы является разработка методик и средств исследования свойств влагозащитных текстильных материалов для изделий специального назначения, позволяющих оценить паропроницаемость и изменение уровня водонепроницаемости в условиях, приближенных к эксплуатационным.

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

- провести анализ существующей технической нормативной правовой базы для установления значений нормативных показателей качества влагозащитных текстильных материалов;
- установить соответствие стандартных методов оценки водонепроницаемости и паропроницаемости реальным эксплуатационным воздействиям на материал;
- разработать устройство для контроля паропроницаемости, позволяющее моделировать различные условия эксплуатации изделий из влагозащитных текстильных материалов;
- разработать методику, позволяющую определять паропроницаемость влагозащитных материалов в условиях, близких к эксплуатационным;
- установить зависимости паропроницаемости влагозащитных текстильных

материалов от температуры и скорости движения наружного воздуха;

- разработать методику комплексной оценки влагозащитных текстильных материалов, обеспечивающую выбор наиболее пригодного материала для выполнения защитной функции изделия;

- разработать методику исследования эксплуатационных свойств влагозащитных материалов специального назначения при одновременном воздействии многоциклового изгиба и различных температурно-влажностных условий;

- установить зависимости уровня водонепроницаемости влагозащитных текстильных материалов от количества циклов многократного изгиба и температуры воздуха.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования являются влагозащитные текстильные материалы с наносным и переносным полимерным мембранным слоем для изделий специального назначения.

Предметом исследования являются эксплуатационные свойства влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем для изделий специального назначения, а также методики и средства их исследования и оценки.

Научная новизна работы состоит в разработке новых методик и средств исследования и оценки свойств влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем при моделировании различных условий эксплуатации для научно-обоснованного выбора в пакет изделий специального назначения:

- разработано новое устройство для контроля паропроницаемости материалов, отличающееся от известных возможностью одновременного моделирования комплекса эксплуатационных факторов, что позволяет проводить испытания в лабораторных условиях с имитацией системы «человек – одежда – окружающая среда»;

- разработана методика определения паропроницаемости материалов на основе гравиметрического метода, отличающаяся возможностью установки регулируемых параметров: температуры и влажности воздуха, интенсивности воздушного потока над образцами и нагрева воды в чашах, позволяющая моделировать условия эксплуатации изделий из данных материалов;

- получены зависимости паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем от температуры и скорости наружного воздуха, позволяющие прогнозировать их способность пропускать пары воды при моделировании условий эксплуатации специальной одежды;

- разработана методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных текстильных материалов в различных температурно-влажностных условиях, обеспечивающая совместное действие многоциклового изгиба и задаваемых параметров микроклимата, позволяющая прогнозировать и оценивать изменение уровня водонепроницаемости материалов в процессе

эксплуатации;

- получены зависимости уровня водонепроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем, учитывающие совместное влияние многоциклового изгиба и позволяющие прогнозировать защитные свойства при различных уровнях эксплуатационной нагрузки.

Положения, выносимые на защиту.

- устройство для контроля паропроницаемости материалов, позволяющее одновременно моделировать комплекс эксплуатационных факторов за счёт обеспечения регулируемых параметров микроклимата над образцами и температурой воды в чашах;

- методика определения паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов, основанная на гравиметрическом методе, позволяющая определять способность материалов пропускать пары воды при варьируемых параметрах испытания;

- зависимости паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем от температуры и скорости наружного воздуха, позволяющие прогнозировать способность материалов пропускать пары воды в заданных условиях эксплуатации;

- методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных текстильных материалов, основанная на совместном действии многоциклового изгиба и задаваемых параметров микроклимата, позволяющая прогнозировать и оценивать изменение водонепроницаемости материалов в условиях близких к эксплуатационным;

- зависимости водонепроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем от количества циклов многократного изгиба и температуры воздуха, позволяющие прогнозировать срок носки водозащитных изделий.

Личный вклад соискателя учёной степени. Соискателем лично:

- установлена номенклатура нормируемых показателей качества влагозащитных материалов и систематизированы их нормативные значения на основе анализа действующих технических нормативных правовых актов;

- выявлено несоответствие условий, предусмотренных стандартными методами определения водонепроницаемости и паропроницаемости, реальным эксплуатационным воздействиям, которым подвергается специальная одежда;

- усовершенствован прибор для оценки водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, позволяющий определять водонепроницаемость в диапазоне гидростатических давлений до 2000 кПа;

- разработано устройство для контроля паропроницаемости, позволяющее моделировать различные условия эксплуатации материалов;

- разработана методика, позволяющая определять паропроницаемость влагозащитных материалов в условиях близких к эксплуатационным;

- получены зависимости паропроницаемости влагозащитных материалов от

температуры и скорости движения наружного воздуха;

- разработана методика комплексной оценки, позволяющая определять качество материалов на этапе входного контроля;

- разработана методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных материалов специального назначения при одновременном воздействии многоциклового изгиба и различных температурно-влажностных условий;

- получены зависимости уровня водонепроницаемости влагозащитных материалов от количества циклов многократного изгиба и температуры воздуха.

Научным руководителем, профессором кафедры «Техническое регулирование и товароведение» Буркиным А. Н. оказывалась консультативная помощь в выборе методологии исследования и интерпретации полученных результатов, вклад руководителя в совместные публикации по теме диссертации состоял в обсуждении полученных результатов. Автор принимал непосредственное участие в постановке задачи исследования, проведении испытаний и в подготовке научных публикаций.

Другим соавтором публикаций является доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви» Панкевич Д. К., которая осуществляла консультирование по вопросам оценки водонепроницаемости композиционных текстильных материалов с мембранным слоем.

В соавторстве с Буркиным А. Н., Панкевич Д. К., Терентьевым А. А. разработан и запатентован прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, вклад соискателя состоял в определении метрологических характеристик на основе анализа требований ТНПА и полном сопровождении процесса патентования. Совместно с Буркиным А. Н., Панкевич Д. К., Борозной В. Д. и Терентьевым А. А. разработано и запатентовано устройство для контроля паропроницаемости, вклад соискателя состоял в предложении общей концепции устройства, определении отличительных признаков, схемы устройства и подготовке сопроводительных документов для патентования, Буркиным А. Н. и Терентьевым А. А. осуществлялась сборка опытного образца устройства, Панкевич Д. К. и Борозной В. Д. осуществлялась организационно-техническая помощь в вопросах приобретения комплектующих к полезной модели.

Апробация результатов диссертации и информация об использовании её результатов. Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в материалах и тезисах докладов международных и республиканских научно-технических и научно-практических конференций и форумов: «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2019); «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий» (Кострома, 2020); «Новые технологии и материалы легкой промышленности» (Казань, 2020); «Сучасні технології промислового комплексу – 2020» (Херсон, 2020); «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» (Могилев, 2020); «Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь» (Витебск, 2020);

«Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» (Москва, 2021); «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» (Москва, 2021); «Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения» (Гомель, 2021); «KyivTex&Fashion» (Киев, 2021); «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, 2022); на заседаниях кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» и МНТК преподавателей и студентов УО «ВГТУ» (Витебск, 2020–2024).

Основные результаты исследования, изложенные и обобщенные в публикациях, используются в производстве на предприятиях: ОАО «МОГОТЕКС» (г. Могилев), ЧПТУП «ИЛЬВАДА» (г. Витебск), а также в учебном процессе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» при изучении дисциплин «Материаловедение», «Материаловедение и технология производств непродовольственных товаров», «Материалы для одежды», «Инновационные материалы и технологии в швейной промышленности».

Опубликование результатов диссертации. По материалам диссертации опубликовано 25 работ, в том числе 4 – в научных рецензируемых журналах в соответствии с перечнем ВАК РБ. Общий объем опубликованных материалов составляет 6,50 авторского листа; в том числе объем публикаций, соответствующих п. 19 Положения о присуждении учёных степеней и присвоения учёных званий в Республике Беларусь, – 2,21 авторского листа.

Структура и объём диссертации. Диссертация содержит перечень сокращений и условных обозначений, введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, библиографический список и приложения. Работа изложена на 248 страницах, включает 21 рисунок, 25 таблиц, 41 формулу и 17 приложений (94 страницы). В работе использовано 150 библиографических источников, изложенных на 15 страницах, включая собственные публикации соискателя на 4 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе выполнен аналитический обзор научно-технической литературы и нормативной документации, посвящённой влагозащитным текстильным материалам для специальной одежды, методам и средствам оценки их водонепроницаемости и паропроницаемости, а также влиянию эксплуатационных факторов на стабильность защитных свойств. Отмечено, что влагозащитные текстильные материалы широко применяются для изготовления специальной одежды работников нефтегазовой, химической, строительной и других отраслей промышленности, к которой предъявляются особые требования законодательных и нормативных актов.

Среди многообразия свойств, обуславливающих качество изделий из текстильных материалов, определяющим фактором является способность

сопротивляться проникновению влаги и эффективно отводить её из пододежного пространства. Водозащитные свойства изделий зависят от материалов, из которых они изготовлены. Широкое использование новых влагозащитных текстильных материалов в легкой промышленности сдерживается недостатком информации об их свойствах.

Методики и средства определения водонепроницаемости и паропроницаемости материалов, установленные существующими техническими нормативными правовыми актами разработаны без учёта ряда факторов, требующих внимания при проектировании современной защитной одежды. Их недостатками являются: узкая область применения, жёстко фиксированные условия испытаний, не соответствующие реальным условиям эксплуатации, а также низкая достоверность получаемых результатов.

Условия эксплуатации текстильных материалов для одежды характеризуются многократными механическими и физико-химическими воздействиями относительно небольшой величины, которые, не вызывая немедленного разрушения, инициируют постепенные структурные изменения. Накапливаясь, эти изменения приводят к появлению дефектов и закономерному снижению эксплуатационных свойств. Применительно к влагозащитным материалам известно, что их исходно высокий уровень водонепроницаемости в процессе носки изделий существенно снижается, то есть является заведомо нестабильным. Вместе с тем недостаточно изучено, какие именно факторы и в какой степени определяют скорость этого снижения, что ограничивает возможности его достоверного прогнозирования. Следствием этого является нерациональное использование высокотехнологичных влагозащитных материалов различных структур, применение которых должно быть научно обоснованным и соответствовать конкретным эксплуатационным условиям.

На основании анализа литературных источников сформулирована цель, задачи и основные направления исследования по теме диссертации.

Вторая глава посвящена формулированию требований и разработке средств исследования и методик определения водонепроницаемости и паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов.

Анализ технических характеристик современных приборов для определения водонепроницаемости материалов позволил выявить их существенный недостаток, заключающийся в визуальной регистрации момента проникновения капли воды, вносящий субъективную погрешность в результат измерения. Испытания на универсальном приборе с открытой ячейкой, рекомендуемом стандартами на методы контроля (ГОСТ 12.4.263-2014 и ГОСТ 413-91), подтвердили наличие дополнительных недостатков: прогиб материала, особенно выраженный для трикотажных основ; невозможность фиксации трёх капель для образцов с высокой капиллярностью; проникновение воды в пространство между текстильным и полимерным мембранным слоем в образцах полученных переносным способом соединения.

Первой значимой попыткой устранения недостатков приборов с открытой измерительной ячейкой стала разработка Панкевич Д. К., которая в рамках

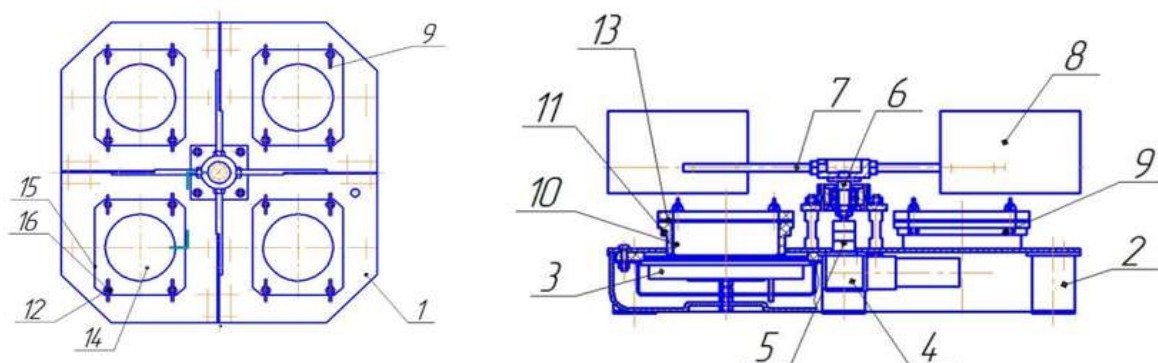
диссертационной работы предложила прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления. Несмотря на то, что данная разработка позволила решить проблему прогиба образца и субъективности визуального контроля, она не устранила весь комплекс ограничений, присущих стандартному оборудованию, и нуждалась в дальнейшем совершенствовании.

Исходя из вышеперечисленного были сформулированы технические требования к такому типу оборудования, руководствуясь которыми проведена работа по усовершенствованию конструкции прибора для определения водозащитных свойств методом гидростатического давления, отличающейся от прототипа (разработка Панкевич Д. К.) принципом фиксации момента проникновения воды, увеличением рабочей зоны и позволяющего определять водонепроницаемость в диапазоне гидростатических давлений до 2000 кПа как на образцах материалов, так и на участках готовых изделий без их разрушения.

Разработана методика определения уровня водонепроницаемости материалов с использованием усовершенствованного прибора для определения водозащитных свойств методом гидростатического давления, исключающая недочеты стандартных методик, изложенных в ГОСТ 12.4.263-2014 и ГОСТ 413-91. Сущность методики заключается в определении максимального гидростатического давления, при котором происходит сквозное проникновение воды через материал и которая распространяется на влагозащитные текстильные материалы и изделия из них, за исключением материалов, в которых содержатся токопроводящие компоненты. Для оценки точности результатов определения водонепроницаемости, получаемых с помощью усовершенствованного прибора, разработана методика оценивания неопределённости, позволяющая определить границы доверительного интервала для измеряемой величины и обеспечить прослеживаемость результатов испытаний.

Большинство существующих методов и средств оценки паропроницаемости текстильных материалов не позволяют в достаточной степени моделировать комплекс эксплуатационных факторов, влияющих на проницаемость материалов в изделиях. Для решения научной и прикладной задачи по оценке уровня комфортности изделий специального назначения было разработано устройство для контроля паропроницаемости, схема которого представлена рисунке 1.

В отличие от известных приборов, используемых при определении паропроницаемости, устройство позволяет варьировать скорость и способ обдува образцов. Благодаря регулируемой скорости вращения привода появляется возможность создания различного по скорости потока воздуха над образцами, а с помощью вращения крыльчатки с лопатками, которые могут устанавливаться под разными углами, появляется возможность увеличить число способов побуждения движения потока воздуха над образцами, при этом осуществляется моделирование различных условий эксплуатации материала.



1 – столик, 2 – регулируемые опоры, 3 – электроконфорки, 4 – привод, 5 – муфта, 6 – ось, 7 – крыльчатка, 8 – лопатки, 9 – чашки для образцов, 10 – стандартная металлическая банка, 11 – корпус, 12 – шпильки, 13 – силиконовая прокладка, 14 – образец, 15 – крышка, 16 – гайки

Рисунок 1 – Схема устройства для контроля паропроницаемости

Большинство существующих приборов не предусматривают возможности нагрева воды в чашках для образцов, что не позволяет моделировать выделение тепла и влаги телом человека. Использование электроконфорок с регулируемым подогревом чаш позволяет создать градиент температур, и таким образом моделировать процесс потоотделения.

Таким образом, разработанное устройство для контроля паропроницаемости является многофункциональным испытательным оборудованием, способным моделировать различные условия эксплуатации изделий из влагозащитных текстильных материалов.

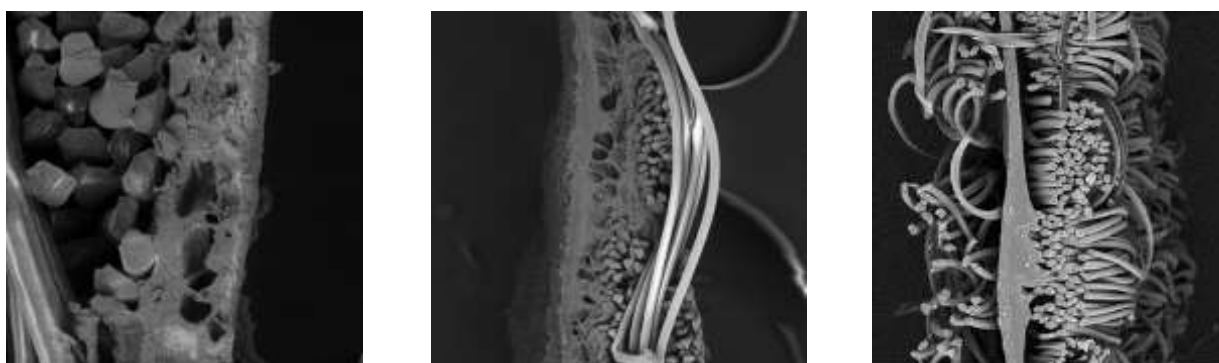
Разработана методика определения паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов, основанная на гравиметрическом методе, заключающаяся в определении количества паров воды, прошедших через единицу площади образца за единицу времени в контролируемых условиях. Испытания проводят одновременно на четырёх образцах. В разработанной методике предложено проводить испытания на увеличенном размере элементарной пробы (77 см^2), это дает возможность усреднить локальные неоднородности материала и минимизировать краевой эффект, что повышает достоверность и репрезентативность измерений паропроницаемости. Методика реализуется с помощью разработанного устройства (рисунок 1), обеспечивающего регулируемый обдув образцов со скоростью до 5 м/с, нагрев воды в чашках $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ и поддержание заданных температуры и влажности воздуха в климатической камере. После установления равновесного градиента парциального давления через 1 час проводят первое взвешивание, через заданный интервал времени – повторное, и по разности масс рассчитывают паропроницаемость как среднее арифметическое результатов четырёх определений. Разработанная методика обеспечивает комплексное моделирование эксплуатационных факторов и повышает точность результатов измерений паропроницаемости.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований структуры и свойств влагозащитных текстильных материалов.

Для проведения экспериментальных исследований в работе были использованы 15 образцов влагозащитных текстильных материалов, различающихся структурой (рисунок 2): 7 образцов двухслойной структуры (№1–№7), имеющих тканую основу из полиэфирных (№2–№7) или полиамидных (№1) нитей с наносным (№1, №4–№7) или переносным (№2, №3) полимерным мембранным слоем; 5 образцов (№8–№12) 2,5-слойной структуры, имеющих дополнительный защитный наносной полимерный слой; 3 образца (№13–№15) трёхслойной структуры с внешним тканым и внутренним трикотажным слоями с переносным полимерным мембранным слоем. Поверхностная плотность используемых образцов находилась в диапазоне от 117 до 239 г/м² и толщин от 0,15 до 0,57 мм, что обеспечило репрезентативность выборки для выявления закономерностей влияния структуры, типа полимерного мембранного слоя и способа его нанесения на текстильную основу на водо- и паропроницаемость.

Для установления взаимосвязи между структурными особенностями и эксплуатационными свойствами влагозащитных текстильных материалов был применён метод сканирующей электронной микроскопии и «точки пузырька». В ходе проведения исследования предложена методика определения структурных характеристик полимерного мембранного слоя, имеющего сквозные поры, входящего в состав влагозащитных текстильных материалов, которая позволяет, не прибегая к сложному дорогостоящему методу сканирующей электронной микроскопии, определить диаметр наиболее крупных пор.

При определении водонепроницаемости использовался усовершенствованный прибор для определения водозащитных свойств, который позволяет проводить испытания в широком диапазоне давлений и воспроизводить условия стандартных методов по ГОСТ 12.4.263-2014 и ГОСТ 413-91.



а – поперечный срез 2-слойного образца №3, б – поперечный срез 2,5-слойного образца №11, в – поперечный срез 3-слойного образца №15

Рисунок 2 – СЭМ-изображение поверхности влагозащитных текстильных материалов с полимерным мембранным слоем

Результаты испытаний показали, что водонепроницаемость исследованных образцов варьируется в широком диапазоне – от 8 кПа до 260 кПа. Наибольшую водонепроницаемость показал образец №1, наименьшую – образец №4. Средние значения водонепроницаемости для каждого образца получены по трём параллельным испытаниям, значения коэффициента вариации не превышает 8,6 %, что свидетельствует о незначительном разбросе экспериментальных данных и подтверждает высокую воспроизводимость результатов измерений.

В рамках диссертационной работы проводился сравнительный анализ результатов испытаний водонепроницаемости материалов на универсальном приборе в лаборатории предприятия (стандартная методика) и на предлагаемом усовершенствованном приборе в лаборатории УО «ВГТУ». Испытания проходили образцы влагозащитных материалов, выпускаемые крупнейшим производителем текстильной продукции в Республике Беларусь ОАО «Моготекс» и зарубежными изготовителями Республики Корея, Китая и России. Анализ показал высокую сходимость результатов, полученных на приборах разной конструкции: относительный разброс значений составляет от 0,74 % до 6,67 %.

Исследование паропроницаемости проводилось по разработанной методике с использованием устройства для контроля паропроницаемости при условиях, приближенных к эксплуатационным: температура воздуха +10 °С, скорость обдува 2 м/с, относительная влажность 65 %, температура воды в чашах 36±1 °С. В ходе исследования были получены результаты паропроницаемости исследуемых влагозащитных текстильных материалов от 1770 г/(м²·24ч) до 6907 г/(м²·24ч). Степень расхождения результатов незначительна, о чём свидетельствуют низкие значения коэффициента вариации, который не превышает 1,58 % и свидетельствует о высокой сходимости параллельных определений и воспроизводимости разработанной методики.

Наибольшей паропроницаемостью обладают образцы 2,5-слойной структуры №11 (6907 г/(м²·24 ч)) и №10 (6521 г/(м²·24 ч)), а также образцы 2-слойной структуры №2 (6108 г/(м²·24 ч)) и №3 (4957 г/(м²·24 ч)). Микроклимат в пододёжном пространстве при эксплуатации одежды из таких материалов будет более комфортным, поскольку они обладают высоким уровнем паропроницаемости. Самые низкие значения у образцов 3-слойной структуры от 1770 до 2103 г/(м²·24ч).

Верификацию стабильности измерительного процесса осуществляли методом контрольных карт Шухарта в соответствии с процедурами, регламентированными серией стандартов СТБ ИСО 5725, на основе 20 циклов испытаний образца №2 в условиях внутрилабораторной прецизионности.

Графическая интерпретация результатов внутрилабораторного контроля стабильности представлена на рисунках 3 и 4.

Анализ карт размахов и средних значений позволил оценить обе составляющие стабильности: прецизионность (повторяемость) и правильность (отсутствие смещения) результатов определения паропроницаемости. Данные результаты свидетельствуют о приемлемости и являются доказательством

подтверждающем компетентность как в отношении смещений, так и в повторяемости измерений.

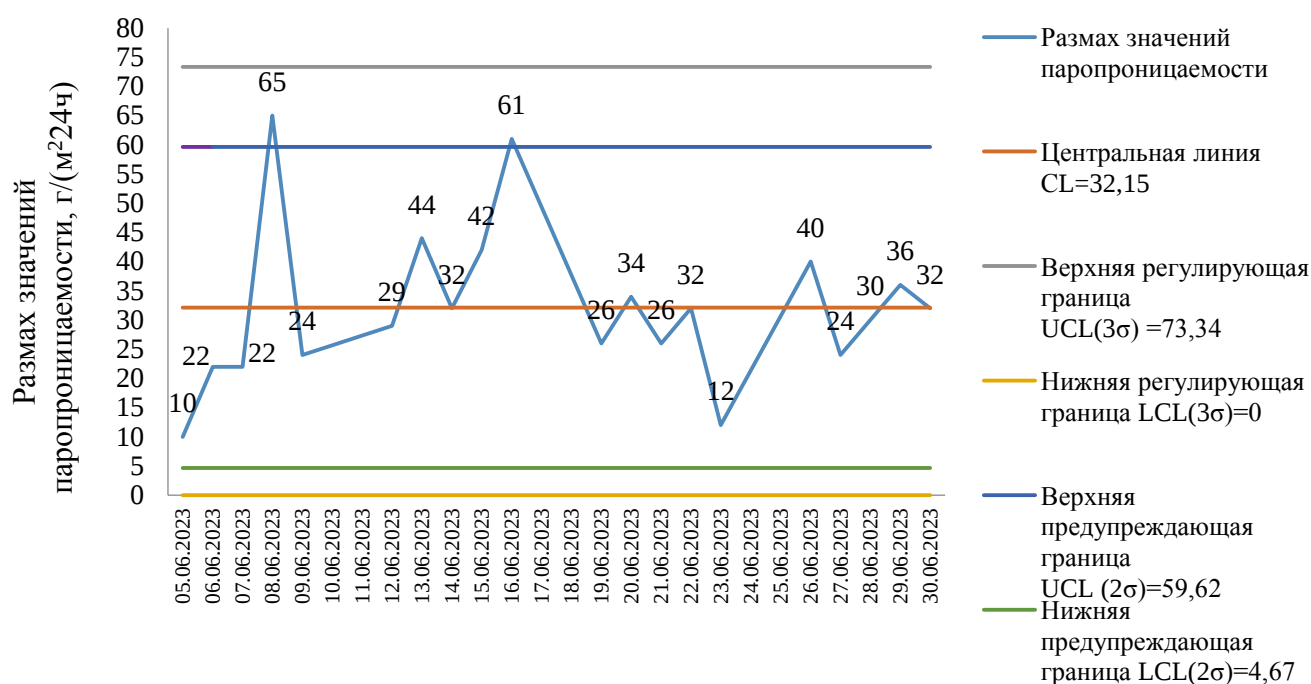


Рисунок 3 – Карта размахов по результатам измерений паропроницаемости

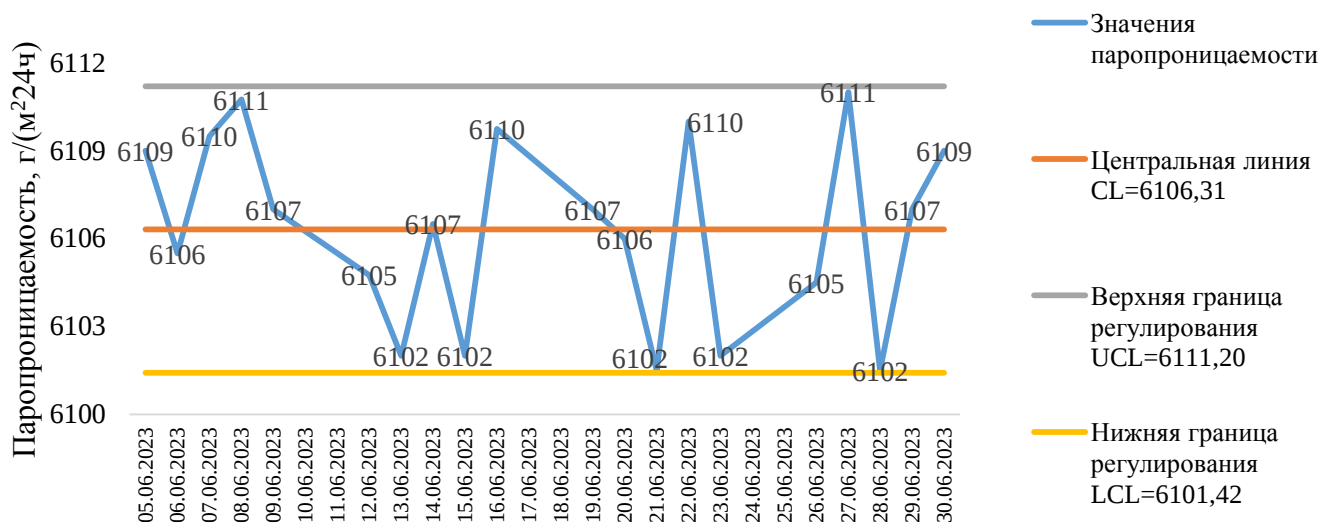


Рисунок 4 – Карта средних значений паропроницаемости

Для определения влияния температуры и скорости наружного воздуха на уровень паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов, имеющих разную структуру и используемых для изготовления специальной одежды, были исследованы образцы влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем, производства ОАО «Моготекс», Республика Беларусь.

Для построения зависимостей паропроницаемости от температуры и

скорости движения наружного воздуха был реализован полный факторный эксперимент 3^2 с двумя управляемыми параметрами по три серии опытов. Температура воздуха варьировалась в диапазоне от +5 °С до +15 °С, скорости движения наружного воздуха от 0 м/с до 4 м/с. По результатам обработки данных получены зависимости (1) и (2), позволяющие прогнозировать показатель паропроницаемости влагозащитных материалов в указанном диапазоне температуры воздуха и скорости движения наружного воздуха:

$$VP_2 = 6382,44 - 62,10 \cdot T + 144,17 \cdot V; (R^2 = 0,98) \quad (1)$$

$$VP_4 = 1681,33 - 33,50 \cdot T + 320,67 \cdot V; (R^2 = 0,98) \quad (2)$$

Поверхности отклика (рисунки 5 и 6) полученных зависимостей показывают, что с понижением температуры и увеличением скорости воздуха паропроницаемость возрастает, что соответствует физическим представлениям о конвективном массопереносе и согласуется с литературными данными. Отклонение экспериментальных данных от прогнозируемых регрессионными моделями не превышает 5 %, что подтверждает адекватность полученных моделей.

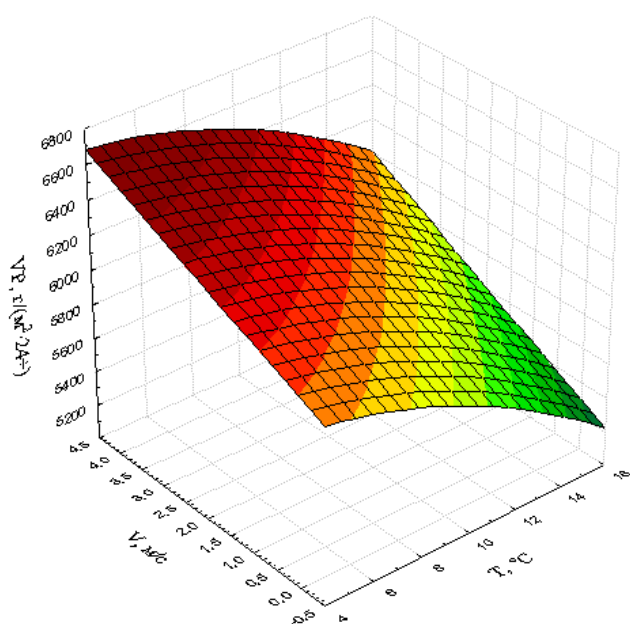


Рисунок 5 – Зависимость паропроницаемости образца №2 от температуры и скорости наружного воздуха

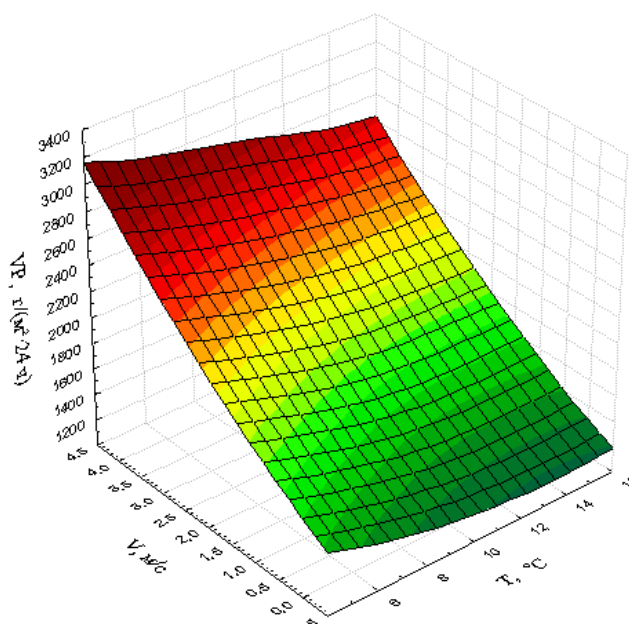


Рисунок 6 – Зависимость паропроницаемости образца №4 от температуры и скорости наружного воздуха

Качество швейных изделий высокого уровня напрямую определяется обоснованностью выбора материалов для их производства. Существующие методы оценки свойств материалов с покрытием позволяют характеризовать

лишь отдельные единичные показатели, что затрудняет проведение комплексного анализа всех свойств одновременно, особенно при сравнительной оценке образцов материалов специального назначения.

Существующие известные методики комплексной оценки (Добровольская Т. А. и Маслова А. А.; Курденкова А. В. и Буланов Я. И.) основаны на графоаналитическом методе с рассмотрением излишнего количества единичных показателей, отвечающих за структурные характеристики материалов, что может повлечь неверный выбор предпочтительного материала, поэтому в качестве альтернативного решения в диссертационной работе предлагается методика комплексной оценки, в которой заложена совокупность основных значимых показателей, отражающих способность обеспечивать защиту от внешних факторов воздействия, и пригодность материала к использованию по назначению. Для определения весомости единичных показателей применяли экспертный метод, который основан на присвоении рангов единичным показателям.

Результаты испытаний образцов влагозащитных текстильных материалов по рассматриваемым единичным показателям представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний влагозащитных материалов по единичным показателям

Образец	Разрывная нагрузка по основе, Н	Разрывная нагрузка по утку, Н	Стойкость к истиранию, циклов	Водонепроницаемость, кПа	Паропроницаемость, г/(м ² ·24ч)
2	810	1165	7800	97,2	6108
3	990	685	6870	119,5	4957
5	870	720	7960	138,2	1848
6	1025	700	8106	93,0	2516

Для расчёта комплексной оценки качества фактические показатели были переведены в относительные путём деления фактического значения на базовое. За базовое значение приняли минимальное значение, поскольку все представленные показатели являются позитивными. Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты комплексной оценки влагозащитных материалов

Образец	Относительные показатели					Комплексная оценка
	Разрывная нагрузка по основе	Разрывная нагрузка по утку	Стойкость к истиранию	Водонепроницаемость	Паропроницаемость	
2	1,00	1,70	1,14	1,05	3,31	1,44
3	1,22	1,00	1,00	1,28	2,68	1,43
5	1,07	1,05	1,16	1,49	1,00	1,21
6	1,27	1,02	1,18	1,00	1,36	1,15
w	0,33	0,10	0,06	0,36	0,15	1,00

Для выбора влагозащитного материала, обеспечивающего максимальный уровень защиты, проведён расчёт комплексной оценки по формуле 3.

$$K_i = \sum_{j=1}^5 w_j \cdot P_{ij} \quad (3)$$

где w_j – весовой коэффициент j -го показателя i -го образца; P_{ij} – значение j -го показателя для i -го образца.

На основании полученных данных образец №2 влагозащитного текстильного материала является предпочтительным для изготовления специальной одежды с максимальной степенью защиты. Уникальное сочетание показателей качества, требования к которым заложены в действующих технических нормативных правовых актах на специальную одежду, включённых в комплексную оценку, позволяет в полной мере оценить пригодность материала для изготовления защитной одежды. Целесообразность применения методики на этапе входного контроля объясняется возможностью принятия однозначного решения в пользу материала, получившего наивысшую комплексную оценку, путём определения значимых показателей качества, определяемых с помощью авторских и стандартных методик.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния эксплуатационных факторов и экспериментальной носки на водонепроницаемость влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем.

С использованием экспертного метода проводилось ранжирование эксплуатационных факторов, влияющих на водонепроницаемость влагозащитных текстильных материалов (изгиб, кручение, растяжение, сжатие, истирание, старение (совместное воздействие стирок и изгиба), стирки/химчистки, сушка, устойчивость к свету), в ходе которого наиболее значимыми признаны: изгиб, старение и истирание.

Согласно требованиям ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды» основными видами воздействий, нормируемыми для материалов являются: многоцикловой изгиб в количестве 9000 циклов, ускоренное старение, которое включает три цикла стирок с последующим изгибом в количестве 9000 циклов, а также истирание на приборе Мартиндейла в количестве 100 циклов. Указанные в стандарте виды воздействий моделируют наиболее значимые эксплуатационные нагрузки: деформации при движении человека, контакт с абразивными поверхностями, воздействие моющих средств при уходе за одеждой. Для получения экспериментальных данных и выявления влияния стандартных видов воздействия на водонепроницаемость проводились исследования на образцах влагозащитных текстильных материалов, отличающихся по составу текстильного и полимерного мембранного слоёв, структуре, способу нанесения

покрытия на текстильную основу. Результаты испытаний в виде относительной водонепроницаемости представлены на рисунке 7.

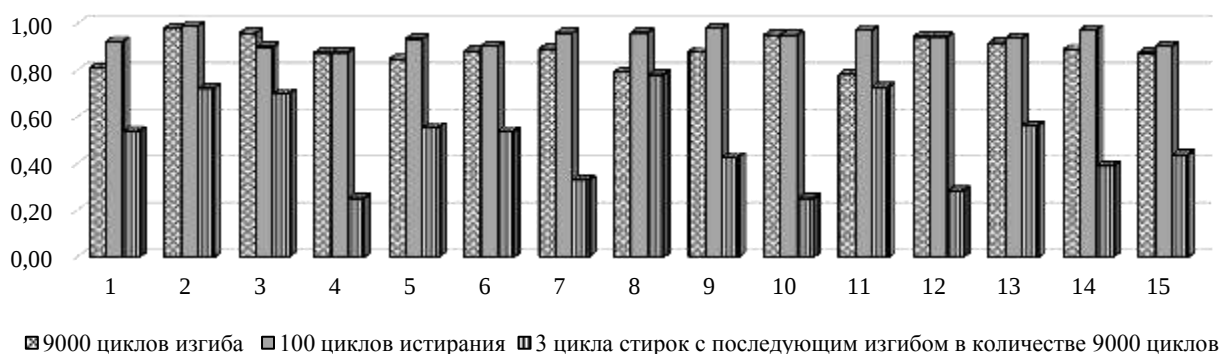


Рисунок 7 – Относительная водонепроницаемость образцов после воздействия эксплуатационных факторов

Основная часть образцов после воздействия 9000 циклов сохраняет высокую относительную водонепроницаемость – от 0,78 до 0,98. Воздействие 100 циклов истирания оказывает наименьшее влияние. Относительная водонепроницаемость всех образцов находится в диапазоне 0,88–0,99, что соответствует потерям не более 12 %. Старение является наиболее агрессивным видом воздействия: относительная водонепроницаемость варьируется в широком диапазоне – от 0,25 до 0,78.

Для определения изменения уровня водонепроницаемости влагозащитных текстильных материалов с покрытием после воздействия многоциклового изгиба при установленных параметрах температуры и влажности воздуха была разработана методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных материалов при различных температурно-влажностных условиях. Суть методики заключается в измерении водонепроницаемости материала, моделировании циклического изгиба при создании заданных климатических условий в течение определенного времени и определении абсолютного либо относительного значения водонепроницаемости после воздействия. Данная методика может быть использована как на этапах изготовления материала, так и при контроле качества готовой продукции.

Для определения влияния температуры воздуха и многоциклового изгиба на уровень водонепроницаемости материалов и прогнозирования эксплуатационного срока носки изделия проводились исследования на образцах влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем производства ОАО «Моготекс», Республика Беларусь.

Для выявления совместного влияния температуры воздуха (T , °C) и количества циклов изгиба (N , килоциклов) на уровень водонепроницаемости (W , кПа) исследуемых текстильных материалов был проведён полный факторный эксперимент 3^2 с двумя управляемыми параметрами: количество циклов изгиба (варьировалось в диапазоне от 150 000 до 300 000 циклов); температура воздуха

(от +5 °С до +15 °С).

На основе анализа литературных источников в качестве базовой модели выбрана экспоненциальная мультипликативная зависимость. Для каждого типа материала по экспериментальным данным были рассчитаны коэффициенты модели и получены зависимости (4) и (5), позволяющие прогнозировать водонепроницаемость в заданном диапазоне эксплуатационных параметров.

$$W_2 = 116,058 \cdot \exp^{(-0,0024 \cdot N) \cdot (0,857 + 0,0143 \cdot T)} \quad (R^2 = 0,96) \quad (4)$$

$$W_4 = 8,153 \cdot \exp^{(-0,008 \cdot N + 0,0003 \cdot N \cdot T)} \quad (R^2 = 0,98) \quad (5)$$

Установлено, что совместное действие многоциклового изгиба и температуры воздуха в варьируемом диапазоне приводит к экспоненциальному снижению водонепроницаемости исследуемых материалов. Установлено, что многоциклового изгиб является преобладающим фактором снижения водонепроницаемости для обоих типов материалов, причем степень его влияния существенно выше для материалов с наносным полимерным мембранным слоем. Температура воздуха оказывает более выраженный эффект на образец влагозащитного текстильного материала с переносным полимерным мембранным слоем.

Полученные модели и установленные закономерности могут быть использованы для научно-обоснованного прогнозирования срока службы спецодежды в зависимости от климатических условий и интенсивности механических нагрузок.

Выполнена экспериментальная носка специальных костюмов из четырёх влагозащитных текстильных материалов (образцы №2, №4, №9, №15) в течение одного года сезонной носки. По истечении установленных интервалов времени проводилась регистрация остаточной водонепроницаемости в контрольных точках изделий. Те же материалы испытывали по разработанной методике исследования эксплуатационных свойств. Сопоставление значений, полученных после носки, с лабораторными данными показало, что отклонение прогнозируемой остаточной водонепроницаемости не превышает 13 % для материалов с исходным уровнем водонепроницаемости свыше 90 кПа, что подтверждает применимость методики в качестве инструмента ускоренной оценки износостойкости и позволяет заменить длительную опытную носку лабораторным моделированием.

Совокупность разработанных средств и методик формирует методологическую базу для объективной, воспроизводимой и приближенной к реальным условиям оценки ключевых защитных свойств влагозащитных текстильных материалов (водо- и паропроницаемости), что создаёт научную основу для исследования их эксплуатационной стойкости и достоверного сопоставления результатов, полученных для материалов различной структуры и состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика определения паропроницаемости влагозащитных материалов на устройстве для контроля паропроницаемости, позволяющая на стадии конструкторско-технологической подготовки производства прогнозировать паропроницаемость материалов, обеспечивая выпуск изделий с заданным уровнем потребительских свойств [1-А, 2-А, 3-А, 16-А, 19-А, 23-А, 24-А, 27-А].

2. Получены зависимости паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полимерным мембранным слоем от температуры в диапазоне от плюс 5 °С до плюс 15 °С, при скорости движения наружного воздуха от 0 до 4 м/с, позволяющие прогнозировать паропроницаемость влагозащитных материалов [2-А, 3-А, 14-А, 16-А, 23-А, 24-А, 27-А].

3. Разработана методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных текстильных материалов, основанная на совместном действии многоциклового изгиба и задаваемых параметров микроклимата, позволяющая прогнозировать и оценивать изменение водонепроницаемости материалов с помощью усовершенствованного прибора для оценки водозащитных свойств в условиях близких к эксплуатационным [4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А, 15-А, 17-А, 18-А, 20-А, 21-А, 22-А, 25-А, 26-А].

4. Получены зависимости уровня водонепроницаемости влагозащитных текстильных материалов с наносным и переносным полиуретановым мембранным слоем от количества циклов многократного изгиба в диапазоне от 150 000 циклов до 300 000 циклов, при температуре воздуха от плюс 5 °С до плюс 15 °С, позволяющие прогнозировать срок носки водозащитных изделий [4-А, 6-А, 8-А, 9-А, 11-А, 13-А, 14-А, 22-А, 25-А, 26-А].

5. Разработана методика комплексной оценки влагозащитных текстильных материалов, основанная на последовательном исключении образцов, не удовлетворяющих обязательным требованиям, и последующим вычислении интегрального показателя, позволяющая на этапе входного контроля объективно выбирать материал, сочетающий защитные и гигиенические свойства применительно к заданным условиям эксплуатации специальной одежды [1-А, 2-А, 6-А, 12-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 21-А, 23-А, 26-А, 27-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработано и внедрено в учебный процесс УО «ВГТУ» устройство для контроля паропроницаемости, позволяющее одновременно моделировать комплекс эксплуатационных факторов и проводить испытания в лабораторных условиях с имитацией системы «человек – одежда – окружающая среда» [Патент РБ № 13087; Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 13.03.2023].

2. Внедрена методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных материалов в различных температурно-влажностных условиях в учебный процесс и на ЧПТУП «ИЛЬВАДА». Экономическая эффективность от замены опытной носки в течение одного месяца составила 744,68 руб. [Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 28.10.2020 и 18.12.2020; Акт о практическом использовании результатов исследования на ЧПТУП «ИЛЬВАДА» от 29.08.2023].

3. Внедрена на ОАО «Моготекс» методика определения водонепроницаемости влагозащитных материалов методом гидростатического давления с использованием запатентованного прибора. Ожидаемый экономический эффект от снижения себестоимости испытаний за счёт уменьшения временных и материальных затрат составляет 408,72 руб. в год для одного артикула материала, проверяемого с периодичностью один раз в месяц [Акт о практическом использовании результатов исследования на ОАО «Моготекс» от 11.09.2023].

4. Разработана и внедрена на ОАО «Моготекс» процедура контроля повторяемости и воспроизводимости результатов измерений водонепроницаемости по предложенной методике. Проведённый в производственных условиях эксперимент показал, что фактические значения размаха параллельных определений и межлабораторного расхождения не превышают нормированных пределов, что подтверждает метрологическую приемлемость методики и обеспечивает прослеживаемость результатов испытаний [Акт о практическом использовании результатов исследования на ОАО «Моготекс» от 11.09.2023].

5. Разработана и внедрена в учебный процесс методика определения структурных характеристик порового мембранного материала, позволяющая количественно сопоставить параметры пористой структуры мембраны с водонепроницаемостью материала и способствующая развитию у обучающихся навыков прогнозирования свойств влагозащитных текстильных материалов [Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 28.10.2020].

6. Результаты диссертационного исследования, включающие разработанное устройство для контроля паропроницаемости и усовершенствованный прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, а также соответствующие методики испытаний будут использованы для расширения области аккредитации испытательного центра УО «Витебский государственный технологический университет». Внедрение указанных средств и методик позволит дополнить номенклатуру проводимых испытаний оценкой водонепроницаемости и паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным, что повысит конкурентоспособность центра и позволит проводить объективную оценку качества современных материалов для специальной одежды [Справка об апробации методики определения паропроницаемости влагозащитных текстильных материалов в испытательном центре УО «ВГТУ» от 04.07.2023].

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных рецензируемых журналах:

1–А. Ивашко, Е. И. Методика определения паропроницаемости водозащитных материалов / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2023. – № 2 (45). – С. 9–16.

2–А. Ивашко, Е. И. Комплексная оценка свойств влагозащитных материалов для специальной одежды / Е. И. Ивашко // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2024. – № 2 (48). – С. 28–37.

3–А. Ивашко, Е. И. Влияние температуры и скорости движения наружного воздуха на паропроницаемость влагозащитных материалов / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Костюмология. – 2024. – Т. 9, № 4. – С. 1–8.

4–А. Ивашко, Е. И. Влияние температуры воздуха и многоциклового изгиба на уровень водонепроницаемости мембранных текстильных материалов / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2026. – № 1 (55). – С. 48–56.

Статьи в сборниках научных трудов и научно-практических журналах:

5–А. Панкевич, Д. К. Анализ нормативной и приборной базы определения водопроницаемости композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембранный слой / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Е. И. Ивашко // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2020. – № 6 (58). – С. 305–314.

6–А. Ивашко, Е. И. Анализ стандартных методов исследования водозащитных свойств текстильных материалов / Е. И. Ивашко // Материалы и технологии. – 2020. – № 2 (6). – С. 7–12.

Материалы конференций:

7–А. Ивашко, Е. И. Исследование структуры композиционных текстильных материалов гидростатическим прибором / Е. И. Ивашко, Д. К. Панкевич // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Кострома, 20 марта 2020 г. : в 2 ч. / Костром. гос. ун-т ; сост. Т. В. Лебедева ; отв. ред. Н. Н. Муравская. – Кострома, 2020. – Ч. 1. – С. 118–121.

8–А. Ивашко, Е. И. Водонепроницаемость мембранных материалов при моделировании износа и после экспериментальной носки / Е. И. Ивашко // Материалы докладов 53-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 22 апр. 2020 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2020. – Т. 2. – С. 163–166.

9–А. Панкевич, Д. К. Влияние эксплуатационных воздействий на уровень водонепроницаемости композиционных текстильных материалов с мембраной / Д. К. Панкевич, Е. И. Ивашко // Новые технологии и материалы легкой промышленности : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. с элементами науч. школы для студентов и молодых ученых, Казань, 19–23 мая 2020 г. / Казан. нац. исслед. технол. ун-т ; редкол.: В. А. Сысоев [и др.]. – Казань, 2020. – С. 361–368.

10–А. Панкевич, Д. К. Анализ условий проведения испытания водопроницаемости мембранных материалов универсальным прибором / Д. К. Панкевич, Е. И. Ивашко // Сучасні технології промислового комплексу – 2020 : матеріали VI-ої Міжнар. наук.-практ. конф., Херсон, 8–12 верес., 2020 г. / Херсон. нац. техн. ун-т. – Херсон, 2020. – Вип. 6 – С. 211–215.

11–А. Панкевич, Д. К. Методика исследования водопроницаемости мембранных материалов при моделировании условий эксплуатации / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Е. И. Ивашко // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : сб. ст. 7-й междунар. науч.-техн. конф. и выст., Могилев, 24–25 сент. 2020 г. / Бел.-Рос. ун-т ; ред.: В. М. Пашкевич [и др.] ; отв. ред. М. Е. Лустенков. – Могилев, 2020. – С. 139–145.

12–А. Панкевич, Д. К. Исследование водопроницаемости композиционных слоистых текстильных материалов прибором с открытой испытательной ячейкой / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Е. И. Ивашко // Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь : материалы междунар. науч.-практ. симп., Витебск, 3 нояб. 2020 г. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: А. А. Кузнецов [и др.]. – Витебск, 2020. – С. 91–94.

13–А. Ивашко, Е. И. Влияние температуры и влажности на свойства водозащитных материалов для специальной одежды / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS «EESTE-2021») : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп., посвящ. 110-летию А. Н. Плановского, в рамках Третьего Междунар. Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук», Москва, 20–21 окт. 2021 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина. – М., 2021. – Т. 2. – С. 134–138.

14–А. Панкевич, Д. К. Влияние способа получения на свойства водозащитных композиционных текстильных материалов для одежды / Д. К. Панкевич, Е. И. Ивашко // Современные инженерные проблемы в

производстве товаров народного потребления : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симп. III Междунар. Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук», Москва, 20–21 окт. 2021 г. / Рос. гос. ун-т им. А. Н. Косыгина ; редкол.: В. С. Белгородский [и др.]. – М., 2021. – С. 159–163.

15–А. Ивашко, Е. И. К вопросу о выборе материалов в пакет водозащитной специальной одежды / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения : сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 9–10 нояб. 2021 г. / Бел. торг.-экон. ун-т потребител. кооп. ; редкол.: С. Н. Лебедева [и др.] ; под науч. ред. В. Е. Сыцко, Е. В. Рощиной. – Гомель, 2021. – С. 68–71.

16–А. Ивашко, Е. И. Анализ стандартных методов исследования паропроницаемости материалов лёгкой промышленности / Е. И. Ивашко // Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 27 апр. 2022 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2022. – Т. 2. – С. 239–242.

17–А. Ивашко, Е. И. Влияние скорости подачи гидростатического давления на уровень водопроницаемости мембранных материалов / Е. И. Ивашко, Д. К. Панкевич, П. С. Скотников // Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 27 апр. 2022 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2022. – Т. 2. – С. 264–266.

18–А. Ивашко, Е. И. Оценка точности результатов измерений водонепроницаемости влагозащитных материалов / Е. И. Ивашко // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 18-19 апр. 2024 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 311–314.

19–А. Ивашко, Е. И. Оценка стабильности результатов измерений паропроницаемости влагозащитных материалов / Е. И. Ивашко // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 18-19 апр. 2024 г. : в 2 т. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 314–317.

Тезисы докладов:

20–А. Ивашко, Е. И. Проблемы исследования водопроницаемости текстильных материалов / Е. И. Ивашко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 окт. 2019 г. / Бел.-Рос. ун-т ; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2019. – С. 158.

21–А. Ивашко, Е. И. Анализ методов исследования водопроницаемости текстильных материалов при действии на них гидростатического давления / Е. И. Ивашко // Тезисы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 28 апр. 2021 г. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2021. – С. 281.

22–А. Ивашко, Е. И. Влияние температуры и влажности на свойства водозащитных материалов / Е. И. Ивашко // KyivTex&Fashion : зб. тез. доповідей V Міжнар. наук.-практ. конф. текстил. та фешн технологій, Київ, 21 жовтня 2021 р. / Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – Київ, 2021. – С. 103–104.

23–А. Ивашко, Е. И. Методы исследования паропроницаемости / Е. И. Ивашко // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования : тез. докл. VII Респ. науч.-техн. конф. молодых ученых, Гомель, 18–20 окт. 2022 г. / Ин-т механики металлополимерных систем им. В. А. Белого Нац. акад. наук Беларуси ; сост.: В. Ю. Шумская [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 69–71.

24–А. Ивашко, Е. И. Разработка методики исследования паропроницаемости мембранных текстильных материалов / Е. И. Ивашко // Тезисы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 19 апр. 2023 г. / Витеб. гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2023. – С. 221–222.

Прочие публикации:

25–А. Ивашко, Е. И. Разработка методики исследования эксплуатационных свойств мембранных текстильных материалов / Е. И. Ивашко // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2020» / Бел. гос. ун-т ; редкол.: И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. – Мн., 2021. – С. 88–93.

Патенты на полезную модель:

26–А. Полезная модель ВУ 12855, МПК G 01N 15/08 (2006.01). Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления : № и 20210283 : заявлено 15.10.2021 : опубликовано 30.04.2022 / Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Ивашко Е. И., Терентьев А. А. ; заявители: Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Ивашко Е. И., Терентьев А. А. – 3 с.

27–А. Полезная модель ВУ 13087, МПК G 01N 15/00 (2006.01). Устройство для контроля паропроницаемости : № и 20220111 : заявлено 16.05.2022 ; опубликовано 30.12.2022 / Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Борозна В. Д., Ивашко Е. И., Терентьев А. А. ; заявители: Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Борозна В. Д., Ивашко Е. И., Терентьев А. А. – 3 с.

РЭЗІЮМЭ

Івашка Кацярына Ігараўна

Ацэнка эксплуатацыйных уласцівасцей вільгацеахоўных тэкстыльных матэрыялаў для вырабаў спецыяльнага прызначэння

Ключавыя словы: воданепранікальнасць, парапранікальнасць, эксплуатацыйныя ўласцівасці, вільгацеахоўныя тэкстыльныя матэрыялы, методыка, мадэляванне эксплуатацыйных уздзеянняў.

Мэта работы: распрацоўка методык і сродкаў даследаванняў уласцівасцей вільгацеахоўных тэкстыльных матэрыялаў для вырабаў спецыяльнага прызначэння, якія дазваляюць ацаніць парапранікальнасць і змяненне ўзроўню воданепранікальнасці ва ўмовах, набліжаных да эксплуатацыйных.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: для даследавання структуры матэрыялаў выкарыстоўваліся: электронны стэрэаскапічны мікраскоп MC-1 і электронны мікраскоп VEGA II LSH з сістэмай энергадысперсійнага мікрааналізу INCA ENERGY 250 ADD з праграмным забеспячэннем; для даследавання фізіка-механічных уласцівасцей абразцоў выкарыстаны: вагі лабараторныя электронныя РА 214С; кліматычная камера УТН-408-40-1Р; таўшчынямер індыкатарны тыпу ТН-10-60; разарвальная машына тыпу РТ-250; прыбор для выпрабавання тканін на ўстойлівасць да ісцірання ДІТ-М; прыбор для выпрабавання на ўстойлівасць да ісцірання і пілінгуемасць па методыцы Марціндэйла Refond RF3169; прыбор «AVENO AG17-3» для даследавання воданепранікальнасці. Выкарыстаны метады матэматычнай статыстыкі, комплекснай ацэнкі ўзроўню якасці, эксперыментальнай носкі, экспертнай адзнакі.

Атрыманыя вышкі і іх навізна: распрацавана методыка, якая дазваляе вызначаць парапранікальнасць вільгацеахоўных матэрыялаў ва ўмовах, набліжаных да эксплуатацыйных; распрацавана прылада для кантролю парапранікальнасці матэрыялаў, якая дазваляе праводзіць выпрабаванні з імітацыяй сістэмы «чалавек-адзенне-навакольнае асяроддзе»; атрымана залежнасць парапранікальнасці вільгацеахоўных матэрыялаў ад тэмпературы і хуткасці вонкавага паветра; распрацавана методыка даследавання эксплуатацыйных уласцівасцей вільгацеахоўных матэрыялаў у розных тэмпературна-вільготнасных умовах; атрымана залежнасць узроўню воданепранікальнасці вільгацеахоўных матэрыялаў ад колькасці цыклаў шматразовага выгібу і тэмпературы паветра.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: распрацаваныя методыкі могуць быць выкарыстаны ў выпрабавальных цэнтрах, навукова-даследчых лабараторыях для даследавання матэрыялаў з высокім узроўнем водаахоўных уласцівасцей, рэкамендацыі па выбары матэрыялаў могуць быць выкарыстаны швейнымі прадпрыемствамі для прагназавання тэрміну носкі водаахоўных вырабаў.

Вобласць ужывання: атрыманыя вынікі могуць быць рэалізаваны ў тэкстыльнай і швейнай прамысловасці для даследавання ўласцівасцей, ацэнкі якасці і канфэкцыяніравання матэрыялаў для водаахоўнай вопраткі.

РЕЗЮМЕ

Ивашко Екатерина Игоревна

Оценка эксплуатационных свойств влагозащитных текстильных материалов для изделий специального назначения

Ключевые слова: водонепроницаемость, паропроницаемость, эксплуатационные свойства, влагозащитные текстильные материалы, методика, моделирование эксплуатационных воздействий.

Цель работы: разработка методик и средств исследований свойств влагозащитных текстильных материалов для изделий специального назначения, позволяющих оценить паропроницаемость и изменение уровня водонепроницаемости в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Методы исследования и использованная аппаратура: для исследования структуры материалов использовались: электронный стереоскопический микроскоп MC-1 и электронный микроскоп VEGA II LSH с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD с программным обеспечением; для исследования физико-механических свойств образцов использованы: весы лабораторные электронные PA 214C; климатическая камера YTH-408-40-1P; толщиномер индикаторный типа TH-10-60; разрывная машина типа PT-250; прибор для испытания тканей на стойкость к истиранию ДИТ-М; прибор для испытания на устойчивость к истиранию и пиллингуемостью по методике Мартиндейла Refond RF3169; прибор «AVENO AG17-3» для исследования водонепроницаемости. Используются методы математической статистики, комплексной оценки уровня качества, экспериментальной носки, экспертной оценки.

Полученные результаты и их новизна: разработана методика, позволяющая определять паропроницаемость влагозащитных материалов в условиях близких к эксплуатационным; разработано устройство для контроля паропроницаемости материалов, позволяющее проводить испытания с имитацией системы «человек – одежда – окружающая среда»; получена зависимость паропроницаемости влагозащитных материалов от температуры и скорости наружного воздуха; разработана методика исследования эксплуатационных свойств влагозащитных материалов в различных температурно-влажностных условиях; получена зависимость уровня водонепроницаемости влагозащитных материалов от количества циклов многократного изгиба и температуры воздуха.

Рекомендации по использованию: разработанные методики могут быть использованы в испытательных центрах, научно-исследовательских лабораториях для исследования материалов с высоким уровнем водозащитных свойств, рекомендации по выбору материалов могут быть использованы швейными предприятиями для прогнозирования срока носки водозащитных изделий.

Область применения: полученные результаты могут быть реализованы в текстильной и швейной промышленности для исследования свойств, оценки качества и конфекционирования материалов для водозащитной одежды.

SUMMARY

Ivashko Ekaterina Igorevna

Evaluation of performance properties of waterproof textile materials for special purpose products

Keywords: waterproof, vapor permeability, operational properties, moisture-protective materials, methodology, modeling of operational effects.

Aim of the research: development of methods and means for studying the properties of waterproof textile materials for special purpose products, enabling the assessment of water vapour permeability and changes in water resistance under conditions close to operational ones.

Research methods and equipment used: to study the structure of the materials the following were used: an MS-1 electronic stereoscopic microscope and a VEGA II LSH electronic microscope with an INCA ENERGY 250 ADD energy-dispersive microanalysis system and software; to study the physical and mechanical properties of the samples the following were used: a PA 214C electronic laboratory scale; a YTH-408-40-1P climatic chamber; a TN-10-60 indicator thickness gauge; a RT-250 tensile testing machine; a DIT-M fabric abrasion resistance tester; a Refond RF3169 abrasion resistance and pilling resistance tester according to the Martindale method; and an AVENO AG17-3 device for studying water resistance. The following methods were used: mathematical statistics, comprehensive quality level assessment, experimental wear, and expert assessment.

The obtained results and their novelty: a methodology has been developed that enables the determination of water vapour permeability of waterproof materials under conditions close to operational ones; a device for controlling water vapour permeability of materials has been developed, allowing tests with simulation of the “human – clothing – environment” system; the dependence of water vapour permeability of waterproof materials on temperature and outside air velocity has been obtained; a methodology for studying the performance properties of waterproof materials under various temperature and humidity conditions has been developed; the dependence of the water resistance level of waterproof materials on the number of multiple bending cycles and air temperature has been obtained.

Recommendations for use: the developed methods can be used in testing centers and research laboratories for studying materials with a high level of water-protective properties; recommendations on material selection can be used by garment enterprises to predict the service life of waterproof products.

Scope: the obtained results can be implemented in the textile and garment industry for studying properties, quality assessment, and material selection for waterproof clothing.



**ИВАШКО
ЕКАТЕРИНА ИГОРЕВНА**

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

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

Подписано к печати 01.07.2026. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. листов 1,7.
Уч.-изд. листов 2,1. Тираж 90 экз. Заказ № 186.

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.