

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 677.017.8:687.17

**ПАНКЕВИЧ  
ДАРЬЯ КОНСТАНТИНОВНА**

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОИСТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ВОДОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ**

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

Витебск, 2017

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель: **Буркин Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»;

Официальные оппоненты: **Николаев Сергей Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и художественного оформления текстильных изделий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», заслуженный деятель науки Российской Федерации;

**Ясинская Наталья Николаевна** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»;

Оппонирующая организация: Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований легкой промышленности» (г. Минск), Республика Беларусь.

Защита состоится « 6 » июня 2017 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:

210035, г. Витебск, Московский проспект, 72, ауд. 210.

E-mail: vstu@vitebsk.by

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

Автореферат разослан «\_\_» мая 2017г.

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

Г.В. Казарновская

## ВВЕДЕНИЕ

Ассортимент водозащитной одежды бытового, спортивного и специального назначения в последнее время пополнился изделиями из композиционных слоистых текстильных материалов (КСМ), содержащих в своей структуре мембранный полимерный слой и обладающих высоким уровнем водозащитных свойств. Водонепроницаемость этих материалов, выраженная величиной выдерживаемого материалом без промокания гидростатического давления, на порядок превышает значение аналогичного показателя плащевых и курточных материалов с пленочным покрытием. В отличие от других водонепроницаемых текстильных материалов, КСМ способны пропускать парообразную влагу из пространства под одеждой наружу за счет специфических свойств мембранного слоя, поэтому спрос на одежду из них высок.

Эксплуатационные свойства КСМ обусловлены составом, химической природой и строением слоев, способом получения слоистой структуры. В процессе эксплуатации свойства КСМ изменяются под действием различных факторов, причем структура материала во многом определяет масштабы этих изменений.

Традиционный подход к оценке эксплуатационных свойств материалов для водозащитной одежды по начальному уровню показателей практически не учитывает изменение свойств в процессе эксплуатации, поэтому разработка методик и средств, обеспечивающих возможность выбора материалов для водозащитной одежды в соответствии с прогнозируемым уровнем стабильности их свойств в процессе эксплуатации по назначению, является актуальной задачей.

Решение проблемы предполагает анализ структуры и эксплуатационных свойств КСМ для выявления характерных особенностей каждого структурного типа в условиях эксплуатации. Определение соответствующих характеристикам материалов методов и средств оценки эксплуатационных свойств позволит улучшить качество водозащитной одежды.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Тема исследования соответствует Приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы по пунктам 3 «Новые multifunctional материалы, специальные материалы с заданными свойствами» (Указ Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166). Диссертационная работа выполнялась в соответствии с темой научно-исследовательской работы кафедры «Конструирование и технология одежды» УО «ВГТУ» ВПД 081 «Разработать конструкции, ресурсосберегающие технологии и

рациональные процессы изготовления швейных изделий», утвержденной НТК УО «ВГТУ» (протокол №4 от 14.12.2011г.), в рамках хоздоговорной НИР «Исследовать эксплуатационные свойства мембранных водозащитных материалов для спортивной экипировки байдарочника и каноиста», ГР №20161222 от 03.05.2016 г. и договора №252 «Изготовление спортивной экипировки байдарочника и каноиста» от 01.12.2014 г. с учреждением «Витебская областная детско-юношеская спортивная школа профсоюзов по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос».

**Цель и задачи исследования.** *Целью* диссертационной работы является разработка методов и средств оценки эксплуатационных свойств композиционных слоистых материалов различных структур для водозащитной одежды.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие *задачи*:

- систематизировать сведения о структуре и способах получения КСМ и выявить характерные для каждого структурного типа особенности эксплуатационных свойств;

- разработать методику и прибор для исследования водонепроницаемости текстильных материалов в широком диапазоне гидростатического давления, позволяющие осуществлять неразрушающий контроль водонепроницаемости материалов и изделий из них;

- установить влияние параметров структуры на паропроницаемость КСМ;

- разработать методику исследования изменения водонепроницаемости материалов под действием комбинированных механических нагрузений;

- установить зависимость водонепроницаемости КСМ различных структур от количества циклов комбинированных механических нагрузений;

- установить влияние комбинированных механических нагрузений на структуру КСМ;

- разработать методику определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ, позволяющую выбирать для водозащитной одежды материалы, свойства которых соответствуют условиям эксплуатации;

- оценить адекватность результатов комплексной оценки эксплуатационных свойств КСМ, полученной с применением разработанной приборной и методической базы, данным экспериментальной носки водозащитной одежды.

**Научная новизна** работы заключается в том, что впервые поставлены и исследованы вопросы комплексной оценки эксплуатационных свойств КСМ для водозащитной одежды с позиции удовлетворения требований существующих стандартов и с точки зрения соответствия условиям эксплуатации одежды:

- предложена усовершенствованная приборная база исследования эксплуатационных свойств КСМ, которая, в отличие от существующей,

обеспечивает возможность проведения исследования влияния механических нагрузок на эксплуатационные свойства материалов за счет сопоставимых размеров образцов и позволяет исследовать водонепроницаемость текстильных материалов в широком диапазоне гидростатических давлений без прогиба образца, что повышает достоверность результата;

- теоретически обоснована и экспериментально подтверждена зависимость водонепроницаемости КСМ от количества циклов механических нагружений, позволяющая прогнозировать ресурс водозащитной функции КСМ различных структур в процессе эксплуатации одежды;

- систематизированы данные комплексных исследований эксплуатационных свойств и структуры КСМ и выявлены типы КСМ, для которых определен характерный диапазон показателей паропроницаемости и водонепроницаемости, установлена степень влияния механических воздействий на показатель водонепроницаемости, что позволяет выбирать тип структуры КСМ в соответствии с конкретными условиями эксплуатации одежды;

- разработана методика определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ, которая, в отличие от существующих, учитывает воздействие эксплуатационных факторов на свойства КСМ в условиях эксплуатации по назначению.

**Положения, выносимые на защиту.** Зависимость относительной паропроницаемости КСМ от параметров структуры (толщины слоев и их соотношения в общей толщине материала), позволяющая подбирать материалы для одежды с заданным уровнем паропроницаемости.

Конструкция портативного прибора для исследования водонепроницаемости текстильных материалов, отличающаяся от существующих тем, что обеспечивает проведение испытания материалов и изделий из них в широком диапазоне давлений без вырезания, деформации и разрушения.

Зависимости водонепроницаемости КСМ различных структур от количества циклов комбинированных механических нагружений, установленные с применением усовершенствованной приборной базы и разработанных методик, позволяющие прогнозировать ресурс водозащитной функции одежды из КСМ в процессе носки.

Методика определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ, отличающаяся от известных тем, что обеспечивает установление степени соответствия материалов условиям эксплуатации водозащитной одежды с целью обоснования выбора материалов для изделий различного назначения.

**Личный вклад соискателя учёной степени.** Соискателем лично:

- проанализирован ассортимент и свойства водонепроницаемых КСМ с полиэфируретановым мембранным слоем;

- выполнен анализ и разработана классификация методов и средств оценки водозащитных свойств текстильных материалов;
- обоснованы конструктивные параметры портативного прибора для исследования водонепроницаемости текстильных материалов и разработана методика исследования водонепроницаемости материалов, предложен инновационный проект практического использования прибора;
- установлена теоретическая зависимость водонепроницаемости КСМ различных структур от количества циклов механических нагрузений;
- разработана методика определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ;
- оптимизированы режимы ниточных соединений при изготовлении спортивной экипировки и организована ее экспериментальная носка, проведен сопоставительный анализ результатов носки и результатов лабораторного моделирования эксплуатационных воздействий.

В соавторстве с Борозной В. Д., Петровой Р. С., Бондаревой Е. В., Петровой-Буркиной О. А., Кукушкиной Ю. М. разработаны приборы [31, 32]. Совместно с Алаховой С. С., Пантелеевой А. В., Овчинниковой И. П., Вариводой В. В. разработана спортивная экипировка байдарочника и каноиста [19, 21, 25, 28]. Вклад соавторов совместных публикаций по теме диссертации состоял в обсуждении полученных результатов. Автор принимала непосредственное участие в получении и интерпретации экспериментальных данных, подготовке научных публикаций, патентовании разработок.

**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: «Качество товаров: теория и практика» (Витебск, 2012); «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2013, 2014, 2015); «Технологии и управление: проблемы, идеи, инновации» (Тверь, 2013); «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2014); «Теоретические знания – в практические дела» (Омск, 2014); «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» (Могилев, 2014); «Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость» (Минск, 2014); «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации-2015) (Москва, 2015); «Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии. Образование – наука – производство», (Казань 2016); «Моделирование в технике и экономике» (Витебск, 2016); «Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения», (Гомель, 2016); IV Форум вузов

инженерно-технологического профиля (Минск, 2015), I Республиканский Форум Молодежного Стартап Движения (Пинск, 2015); Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум «Новые горизонты 2015» (Минск, 2015); на заседаниях кафедры «Стандартизация» УО «ВГТУ» и конференциях преподавателей и студентов УО «ВГТУ» (Витебск, 2014 – 2016).

Основные результаты исследования, изложенные и обобщенные в публикациях, используются в производстве на предприятиях: ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» (г. Витебск), ЗАО ОПТФ «Світанак» (г. Орша), ОАО «Світанак» (г. Жодино), ЧПТУП «Манитек» (г. Витебск); а также в учебном процессе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» при изучении дисциплин «Основы материаловедения», «Методы и средства контроля качества продукции», «Основы научных исследований», «Технология швейных изделий».

**Опубликование результатов диссертации.** По материалам диссертации опубликовано 32 работы, в том числе 4 – в научных рецензируемых журналах в соответствии с перечнем ВАК, 3 – в сборниках научных трудов, 19 – в материалах конференций (Республика Беларусь, Российская Федерация), 4 – в сборниках тезисов докладов конференций, получено 2 патента Республики Беларусь на полезную модель. Общий объём опубликованных материалов составляет 3,96 авторских листов; в том числе объём публикаций, соответствующих п. 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь, составляет 1,38 авторских листов.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация содержит перечень сокращений и условных обозначений, введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объём работы составляет 250 страниц, в том числе 142 страницы текста. Объём, занимаемый 48 рисунками, 35 таблицами и 9 приложениями, составляет 108 страниц. В работе использовано 127 библиографических источников, в т. ч. на иностранных языках, и 32 публикации соискателя, список которых изложен на 15 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

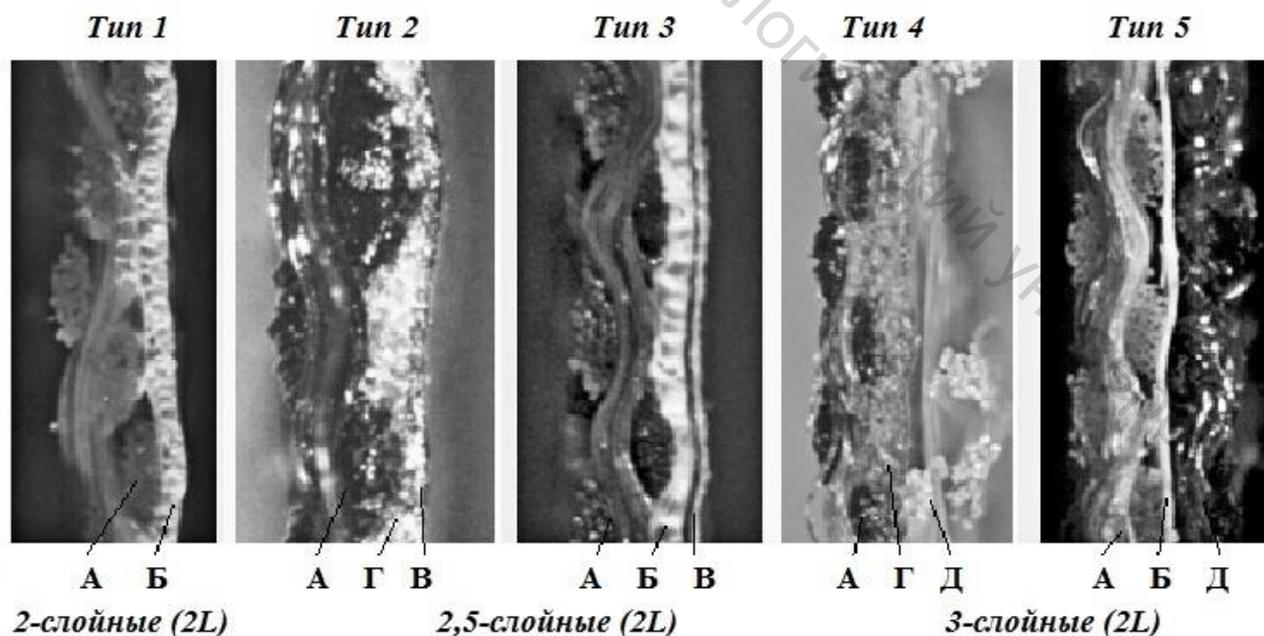
**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** проведен аналитический обзор публикаций по вопросам ассортимента, свойств, области применения, способов получения, показателей качества, методов и средств оценки свойств водозащитных КСМ [8, 9, 10, 12].

Выявлено, что водонепроницаемость является тем показателем, высокий уровень которого отличает КСМ от каких-либо других текстильных материалов. Анализ методов оценки водонепроницаемости текстильных материалов показал, что в диапазоне давлений от 0,1 МПа до 0,4 МПа (средний уровень водонепроницаемости КСМ) большинством отечественных стандартов проведение испытаний не предусматривается [5, 9]. Рассмотрены и систематизированы эксплуатационные воздействия, влияющие на свойства материалов для водозащитной одежды, и лабораторные методы их моделирования [11, 13, 15, 16]. Установлено, что влияние эксплуатационных факторов на водонепроницаемость текстильных материалов изучено недостаточно и в настоящее время отсутствует научно обоснованный подход к подбору КСМ для водозащитной одежды различного назначения, что в совокупности обуславливает необходимость проведения комплексного исследования эксплуатационных свойств КСМ различных структур и совершенствования соответствующей приборно-методической базы.

**Вторая глава** посвящена сравнительному анализу эксплуатационных свойств плащевых материалов и КСМ, исследованию структуры и гигиенических свойств КСМ.

Структура образцов материалов была исследована методом микроскопии поперечного среза материала в отраженном свете. Микрофотографии срезов КСМ различных структур с делением на классификационные типы представлены на рисунке 1.



**А** – текстильная основа; **Б** – гидрофобный пористый губчатый мембранный слой;  
**В** – гидрофильный монолитный мембранный слой; **Г** – гидрофобный пористый корпускулярный мембранный слой; **Д** – текстильная подкладка.

**Рисунок 1.** – Микрофотографии срезов КСМ различных структур

Традиционно принятое в зарубежной специальной литературе деление КСМ на классы 2L, 3L и 2,5Lv в зависимости от количества слоев (от англ. layer – слой) дополнено делением на типы в зависимости от структуры и свойств полимера мембраны. Результаты микроскопии срезов образцов показали, что все исследуемые КСМ с гидрофобным мембранным слоем являются макропористыми с наблюдаемым диаметром пор от 1 мкм до 70 мкм. Исследовались образцы 23 артикулов КСМ отечественного и зарубежного производства. Из них 9 артикулов – 2-слойные КСМ типа 1; 7 артикулов – 2,5-слойные КСМ типов 2 и 3; 7 артикулов – 3-слойные КСМ типов 4 и 5. Для каждого образца определялось соотношение толщин полимерных и текстильных слоев, исследовалась равномерность пористой структуры, степень погруженности текстильной основы в полимерный слой, фаза строения текстильной основы, количество пор на единицу площади среза мембранного слоя [30]. Результаты исследования использовались для установления зависимости свойств КСМ от их структурных характеристик.

При исследовании паропроницаемости КСМ различных структурных типов был проведен корреляционный анализ результатов. Установлена отрицательная корреляционная зависимость паропроницаемости от общей толщины текстильных слоев ( $r_k = -0,68$ ), положительная зависимость паропроницаемости от доли толщины гидрофобного пористого мембранного слоя в общей толщине композита ( $r_k = 0,7$ ), отрицательная корреляционная связь доли толщины гидрофильного монолитного мембранного слоя и паропроницаемости ( $r_k = -0,6$ ) для КСМ, содержащих такой слой [18]. Данные о степени влияния параметров структуры на паропроницаемость КСМ позволяют на стадии конфекционирования материалов для одежды по известной толщине слоев композиционного материала осуществлять прогнозирование уровня его паропроницаемости, способствуя повышению обоснованности выбора.

В настоящее время при оценке качества КСМ на швейных предприятиях используют нормативно-техническую документацию, разработанную для плащевых и курточных тканей. Однако результаты сравнительного анализа эксплуатационных свойств КСМ и водозащитных плащевых материалов показали, что средние значения контролируемых по стандарту показателей КСМ превышают нормативные: по разрывной и раздирающей нагрузке – более чем в 2 раза, по водонепроницаемости – более чем в 10 раз, а показатель способности пропускать пары воды не нормируется. Следовательно, оценивать качество КСМ, пользуясь нормативной базой для плащевых и курточных тканей, нецелесообразно.

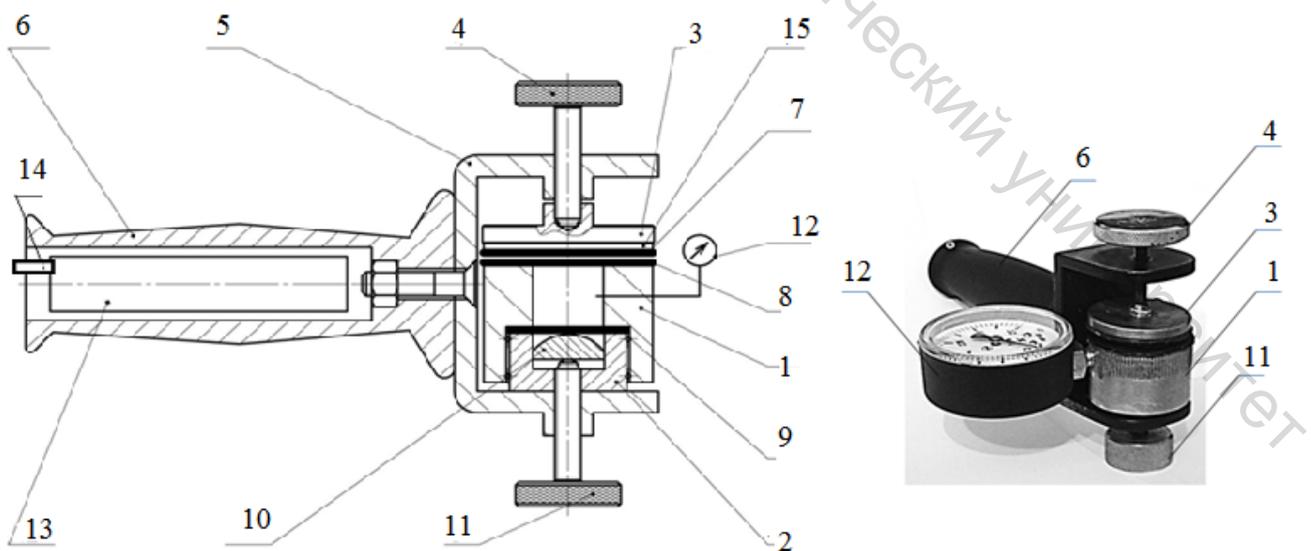
Согласно проведенным исследованиям, эксплуатационные свойства КСМ таковы, что соответствующая им номенклатура показателей качества может быть сформирована из нескольких стандартов, регламентирующих требования к близким по назначению или способу производства материалам. Приборная база

должна позволять оценивать свойства в диапазоне средних значений показателей свойств КСМ. В связи с этим возникает необходимость в её совершенствовании для оценки определяющего показателя качества КСМ – водонепроницаемости.

**Третья глава** посвящена разработке прибора и методики определения водонепроницаемости текстильных материалов и исследованию водонепроницаемости КСМ.

Анализ патентных источников, нормативной базы и литературы показывает, что основным методом определения водонепроницаемости текстильных материалов является метод высокого гидростатического давления. Большинство приборов, реализующих этот метод, характеризуются значительными габаритами и массой, материалоемкостью, малым диапазоном гидростатического давления, разрушением материала в процессе испытания за счет прогиба образца в отверстии кольцевых зажимов. Этот прогиб тем значительнее, чем больше деформационная способность материала. Прогиб образца во время испытания приводит к искажению значения реального уровня водонепроницаемости материала: площадь образца увеличивается, его структура нарушается, а проникание воды на изнаночную сторону материала происходит в результате увеличения размера пор и появления микротрещин непосредственно в процессе испытания. В реальных условиях эксплуатации такой прогиб исключен.

Разработанный портативный прибор (рисунок 2) массой 1,2 кг работает от батарейки и позволяет автоматически регистрировать проникание воды через материал; осуществлять неразрушающий контроль водонепроницаемости материалов без вырезания и прогиба образца; проводить испытания в широком диапазоне давлений (от 0,0 МПа до 0,4 МПа) [4, 20, 24, 32].



1, 2 – втулки; 3 – зажимная пластина; 4, 11 – ручки; 5 – скоба; 6 – рукоятка; 7, 8 – накладки; 9 – мембрана; 10 – полусфера; 12 – манометр; 13 – источник питания; 14 – индикатор; 15 – металлизированная пластина

**Рисунок 2.** – Схема и внешний вид прибора для определения водонепроницаемости

Методика определения водонепроницаемости разработанным прибором реализуется следующим образом: в рабочую область наружной втулки 1 заливают воду, материал располагают лицевой стороной к воде между резиновыми накладками 7 и 8 зажимного устройства; вращением ручки 4 прижимают зажимную пластину 3 к втулке. Вращением ручки 11 повышают гидростатическое давление. Металлизированная пластина 15 (датчик воды) регистрирует момент появления воды на обратной стороне материала, сопровождающийся сигналом индикатора 14. Величина давления определяется по манометру 12.

Значимость величины прогиба образца во время испытания для получения достоверного результата исследования водонепроницаемости оценивалась расчетным и экспериментальным методами. Проведенный теоретический анализ напряженно-деформированного состояния образца КСМ с пористым мембранным слоем в традиционном (с прогибом) и разработанном (без прогиба) зажимных устройствах позволил получить расчетную формулу (1):

$$\Delta P = c \cdot \gamma \cdot \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + \frac{4 \cdot h^2}{\pi \cdot k \cdot r^2}}} \right) \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – искажение значения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания, МПа;  $c = 221,3$  (мкм·см рт. ст.) – константа;  $\gamma = 1,333 \cdot 10^{-3}$  (МПа / см рт. ст.) – коэффициент перехода к единицам системы СИ;  $d_1$  – средний диаметр пор мембранного слоя КСМ (по результатам микроскопии образцов), мкм;  $h$  – величина прогиба образца при испытании на эталонном приборе, мкм;  $k$  – среднее количество пор на единицу площади образца (определяется по результатам микроскопии образцов), мкм<sup>-2</sup>;  $r$  – радиус рабочей зоны измерительной ячейки эталонного прибора, мкм.

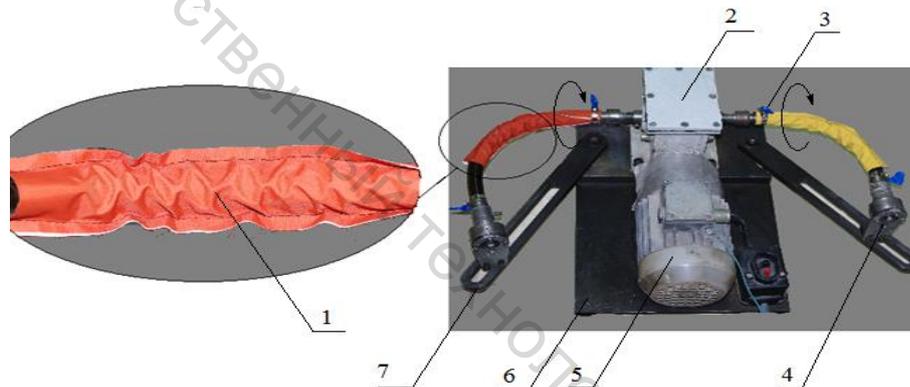
Экспериментальные исследования, проведенные в аккредитованной лаборатории испытания материалов ОАО «Моготекс», показали, что результаты эксперимента согласуются с расчетом по формуле (1). Таким образом, показана значимость условий зажима образца для получения достоверного результата исследования водонепроницаемости и предпочтительность применения разработанного прибора.

Разработанный портативный прибор и методика определения водонепроницаемости позволяют исследовать КСМ с различной деформационной способностью в широком диапазоне давлений без вырезания и разрушения образца, без подключения прибора к электросети, что позволяет исследовать также и водонепроницаемость изделий, находящихся в эксплуатации, с целью

установления стабильности их водозащитной функции и соответствия назначению.

**Четвертая глава** посвящена совершенствованию методической и приборной базы оценки эксплуатационных свойств КСМ и исследованию структуры и свойств водозащитных КСМ в динамике эксплуатации.

Эксплуатационные свойства КСМ, влияющие на срок носки, предложено характеризовать относительной водонепроницаемостью после механических и физико-химических (стирка) воздействий. Для моделирования механических эксплуатационных воздействий использована методика циклических комбинированных нагружений, описанная в работах А. Н. Буркина. Методика позволяет оценить влияние растяжения, сжатия, и изгиба на структуру и свойства материалов. Для решения задач диссертационной работы разработана методика исследования водонепроницаемости материалов после моделирования механических эксплуатационных воздействий, разработан и использован усовершенствованный прибор (рисунок 3) [31].



1 – образец, одетый на оправку, 2 – редуктор, 3 – зажим, 4 – опора оправки, 5 – электродвигатель, 6 – платформа, 7 – планка

**Рисунок 3. – Внешний вид прибора для моделирования механических воздействий**

Определение относительной водонепроницаемости после моделирования механических эксплуатационных воздействий согласно разработанной методике производят следующим образом: определяют портативным прибором начальную водонепроницаемость образцов, вырезают и стачивают в трубку образцы, одевают на оправки, фиксируют зажимами. Фиксируют угол изгиба образцов зажатием винтов. Включают прибор в сеть – образцы получают циклическую деформацию изгиба, сжатия и растяжения. После заданного количества циклов снова определяют водонепроницаемость образцов и рассчитывают относительную водонепроницаемость делением полученного результата на начальное значение показателя.

Выявлено, что для всех КСМ в диапазоне от 0 до 150 тысяч циклов наблюдается экспоненциальная зависимость относительной водонепроницаемости от количества циклов нагружения. Показано, что скорость снижения

водонепроницаемости КСМ неодинакова для материалов, характеризующихся различной структурой. Установлено, что после 150 тысяч циклов нагружений исходная водонепроницаемость снижается у 2-слойных КСМ типа 1 в среднем на 30 %; у 2,5-слойных КСМ типа 2 и 3 в среднем на 45%; у 3-слойных КСМ типа 4 и 5 в среднем на 60%.

На рисунке 4 представлены диаграммы рассеяния и графики выявленных зависимостей вида (2):

$$y = e^{-a \cdot x}, \quad (2)$$

где  $y$  – относительная водонепроницаемость после многоцикловых механических нагружений, Мвн, доли от единицы ;  $e$  – основание натурального логарифма;

$a$  – коэффициент, зависящий от структуры материала:

$a = 0,002$  для 2-слойных КСМ,

$a = 0,004$  для 2,5-слойных КСМ,

$a = 0,009$  для 3-слойных КСМ.

$x$  – количество циклов воздействий, тысячи циклов.

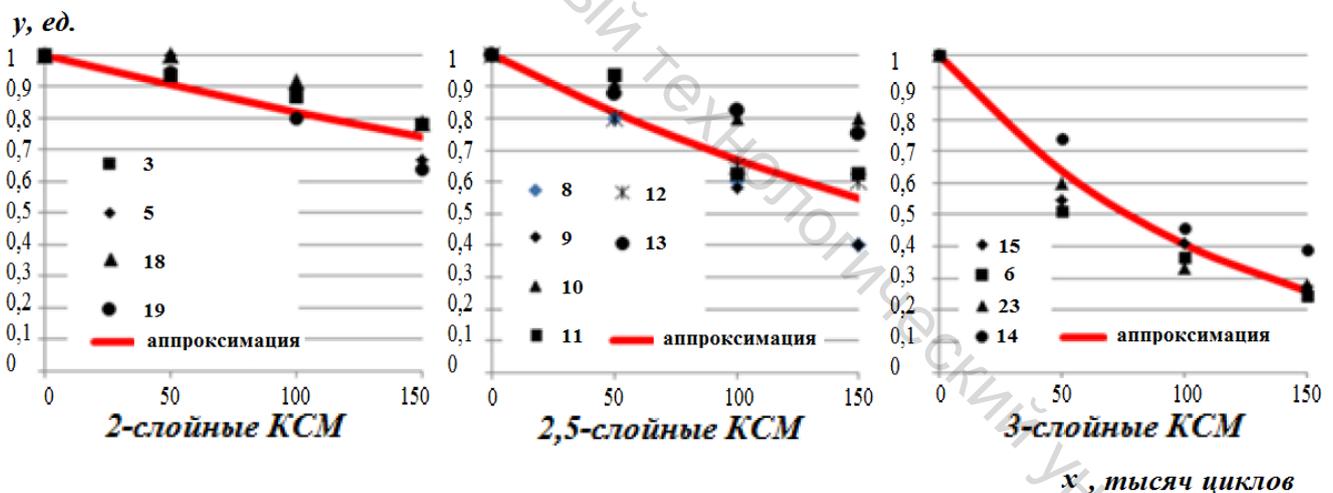


Рисунок 4. – Зависимость водонепроницаемости от количества циклов механических нагружений для КСМ различных структур

Проведенный микроскопический анализ структуры КСМ после многоцикловых механических нагружений позволил сделать следующие выводы:

- наиболее стабильна структура КСМ с губчатым мембранным гидрофобным слоем толщиной более 35 мкм;
- у КСМ типов 2 и 4 наблюдается отрыв и смещение корпускул внутри слоев композита;
- у трехслойных КСМ типа 5 отмечено разрушение мембраны вблизи точно нанесенного связующего.

Для разработки методики определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ для одежды установлены и представлены в таблице 1 показатели свойств КСМ, отражающие способность материалов обеспечивать надежность под действием факторов среды и назначения.

Таблица 1. – Эксплуатационные факторы и показатели свойств КСМ

| Факторы                               | Усл. обозн. | Свойство материала   | Показатель свойства / Условное обозначение  |
|---------------------------------------|-------------|--|---|
| Смачивание                            | С           | способность скатывать капли воды, попавшие на поверхность  | водоотталкивание / Во   |
| Давление                              | Д           | способность не пропускать воду при определенном давлении   | водонепроницаемость / Вн  |
| Удар                                  | У           |  |   |
| Растяжение                            | Р           | способность противостоять действию факторов изнашивания, сохраняя уровень начальных эксплуатационных показателей | разрывная нагрузка / Рн;<br>относительные водонепроницаемость / Мвн, разрывная нагрузка / Мр и водоотталкивание / Мво после механических нагрузок |
| Изгиб                                 | И           |  |   |
| Сжатие                                | Сж          |  |   |
| Температура и влажность под одеждой   | Тп          | способность пропускать водяные пары в среду с меньшей влажностью   | паропроницаемость / П   |
|                                       | Вп          |  |   |
| Растворы синтетических моющих средств | Ст          | способность материалов сохранять свойства после стирки   | относительные водонепроницаемость / Свн, паропроницаемость / Сп, разрывная нагрузка / Ср, водоотталкивание / Сво после стирок                     |

Разработан способ анализа условий эксплуатации одежды по матрице приоритетных показателей свойств (ППС) [3].

С целью апробации методики проведена оценка эксплуатационных свойств КСМ, предназначенных для изготовления водозащитной экипировки байдарочника. Анализ условий эксплуатации экипировки представлен в виде матрицы ППС в таблице 2. Интенсивность воздействия фактора определяют тремя уровнями: 0 – воздействие фактора ничтожно мало; 1 – эксплуатационный фактор воздействует, но не доминирует; 2 – воздействие фактора для данного вида изделия преобладает.

Уровень интенсивности воздействия фактора записывают в верхней строке ( $Y_k$ ) и крайнем левом столбце ( $Y_j$ ) матрицы соответственно фактору. В ячейке на пересечении строки и столбца матрицы указан показатель свойства, обеспечивающего соответствие материала назначению при суммарном

воздействию факторов, которому присваивают балл  $B_{jk}$ , равный произведению уровней ( $Y_j \cdot Y_k$ ).

Таблица 2. – Матрица ППС для экипировки байдарочника

| Уровень воздействия |                                     | $Y_k$ | 2    | 1    | 0    | 1     | 2     | 2    | 2    | 1     |
|---------------------|-------------------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| $Y_j$               | Эксплуатационные факторы            |       | С    | Дг   | Уг   | Р     | Мнн   | Тп   | Вп   | Ст    |
| 2                   | С (смачивание)/балл                 |       | Во/4 | Вн/2 | Вн/0 | Мво/2 | Мво/4 | Во/4 | Во/4 | Сво/2 |
| 1                   | Дг (давление гидростатическое)/балл |       |      | Вн/1 | Вн/0 | Мвн/1 | Мвн/2 | Вн/2 | Вн/2 | Свн/1 |
| 0                   | Уг (удар гидростатический)/балл     |       |      |      | Вн/0 | Мвн/0 | Мвн/0 | Вн/0 | Вн/0 | Свн/0 |
| 1                   | Р (растяжение)/балл                 |       |      |      |      | Рн/1  | Мр/2  | П/2  | П/2  | Ср/1  |
| 2                   | Мнн (многоцикловые нагрузки)/балл   |       |      |      |      |       | Мвн/4 | П/4  | П/4  | Свн/2 |
| 2                   | Тп (температура под одеждой) / балл |       |      |      |      |       |       | П/4  | П/4  | Сп/2  |
| 2                   | Вп (влажность под одеждой) / балл   |       |      |      |      |       |       |      | П/4  | Сп/2  |
| 1                   | Ст (стирка) / балл                  |       |      |      |      |       |       |      |      | Свн/1 |

Весомость каждого показателя определяют по формуле (3):

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^k B_{jk}}{\sum_{j=1}^i \sum_{k=1}^k B_{jk}}, \quad (3)$$

где  $W_i$  – весомость  $i$ -го показателя свойства, доли от единицы;  $i$  – количество показателей свойств в матрице ППС (для оценки эксплуатационных свойств водозащитной экипировки байдарочника  $i = 11$ );  $B_{jk}$  – балл, присваиваемый показателю по результатам анализа условий эксплуатации;  $j, k$  – индексы, определяющие положение  $i$ -го показателя в матрице ППС.

Проведенные исследования [6, 22, 23, 24, 29] позволили выявить особенности эксплуатационных свойств КСМ различных структур и разработать градацию типов структур **по убыванию** среднего значения показателя:

- паропроницаемость – тип 1, тип 4, тип 5, тип 2, тип 3;
- водонепроницаемость – тип 5, тип 4, тип 3, тип 1, тип 2;
- относительная водонепроницаемость после 150 тысяч циклов механических воздействий – тип 1, тип 3, тип 2, тип 5, тип 4;
- относительная водонепроницаемость после 20 стирок – типы 3 и 2, тип 5, тип 4, тип 1.

Используя градацию, по показателю, имеющему наибольшую весомость, выбирают тип структуры материала с наивысшим значением этого показателя. Дальнейшую оценку эксплуатационных свойств материалов проводят только среди КСМ выбранной структуры по известным методикам расчета комплексных

показателей. Задача оценки уровня эксплуатационных свойств материалов сформулирована в виде зависимости (4):

$$K = f(W_1 \cdot B_1, \dots, W_i \cdot B_i) \longrightarrow \max, \quad (4)$$

где  $K$  – комплексный показатель эксплуатационных свойств;  $B_i$  – относительное значение показателя, определенное дифференциальным методом.

**Пятая глава** посвящена анализу результатов экспериментальной носки водозащитной спортивной экипировки, расчету ресурса экипировки и производственной апробации результатов работы. Разработана технология изготовления спортивной водозащитной экипировки байдарочника [19, 21, 25, 26, 28], изготовлена опытная партия экипировки и проведена её экспериментальная носка.

Анализ результатов лабораторных испытаний и экспериментальной носки показал, что уровень водонепроницаемости КСМ снижается в процессе эксплуатации, причем зависимость водонепроницаемости от количества часов носки соответствует полученной в лабораторных условиях зависимости водонепроницаемости от количества циклов механических воздействий.

По результатам экспериментальной носки определен средний ресурс  $T_{cp}$  экипировки исходя из закона нормального распределения отказов одежды, связанных с износом материалов верха.

В расчетах использована формула (5):

$$R(T) = 1 - \Phi \left( \frac{\frac{H}{v_c} - T}{V \cdot T} \right), \quad (5)$$

где  $R(T)$  – вероятность безотказной работы материалов верха;  $\Phi$  – функция плотности стандартного нормального распределения (интеграла от плотности вероятностей) в интервале  $\pm 2 \cdot \sigma$ ;  $H$  – предельно допустимый уровень водонепроницаемости,  $H = 0,074$  МПа;  $v_c$  – средняя скорость снижения водонепроницаемости, МПа / час;  $H / v_c$  – средний ресурс  $T_{cp}$  материалов верха экипировки, часы;  $T$  – минимальное или максимальное значение ресурса, часы;  $V$  – коэффициент вариации скорости снижения водонепроницаемости.

Результаты расчета показали, что средний ресурс использованных для изготовления экипировки материалов (образцы №15 и №19)  $T_{cp}^{19} = 217$  часов и  $T_{cp}^{15} = 154$  часа активной тренировочной деятельности байдарочника. При этом комплексная оценка эксплуатационных свойств материалов, рассчитанная по

*разработанной методике*, составила  $K_9^{19} = 0,79$  и  $K_9^{15} = 0,66$  баллов соответственно, что коррелирует с ресурсом.

Таким образом, способность сохранять уровень водонепроницаемости под действием эксплуатационных воздействий можно выявить, не проводя длительное исследование в натуральных условиях, заменив его лабораторными методами исследования. Отличие комплексной оценки, рассчитанной по разработанной методике, в том, что она учитывает особенности КСМ различных структур, позволяет прогнозировать поведение КСМ в процессе эксплуатации по назначению и выбирать для изготовления одежды материал с более продолжительным ресурсом водонепроницаемости.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основе исследования структуры выявлены 5 типов КСМ и разработана их градация по средним значениям показателей эксплуатационных свойств, установлена линейная корреляционная зависимость паропроницаемости от соотношения толщин входящих в состав композита слоев, что в совокупности позволяет подбирать для водозащитной одежды материалы с наиболее эффективной в конкретных условиях эксплуатации структурой [2, 14, 17, 18, 23, 24, 30].

2. Разработаны методика исследования водонепроницаемости текстильных материалов и прибор, отличающийся от существующих портативностью, малой энергоемкостью и тем, что он позволяет проводить исследование материалов и изделий из них в диапазоне гидростатического давления от 0,0 МПа до 0,4 МПа без вырезания, деформации и разрушения образца, создавая одинаковые условия испытания для материалов с различной деформационной способностью и повышая достоверность результатов исследования [4, 5, 20, 24, 32].

3. Разработаны методика и прибор для моделирования механических эксплуатационных воздействий, получены и подтверждены результатами экспериментальной носки математические зависимости водонепроницаемости КСМ различных структурных типов от количества циклов воздействий в диапазоне от 0 до 150 тысяч циклов, позволяющие на стадии конструкторско-технологической подготовки производства прогнозировать ресурс водонепроницаемости материалов, обеспечивая выпуск одежды с заданным уровнем потребительских свойств [6, 7, 16, 29, 31].

4. Разработана дифференцированная по видам и уровням эксплуатационных воздействий методика определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ, позволяющая выбирать для

водозащитной одежды материалы, свойства которых соответствуют конкретным условиям эксплуатации [1, 3, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 27].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Использование разработанной методики определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств КСМ при конфекционировании материалов позволит повысить надежность и качество одежды за счет увеличения ресурса водонепроницаемости материалов верха. Рекомендации по выбору водозащитных КСМ с полиэфируретановой мембраной заключаются в следующем:

- для водозащитной одежды, требующей высокого уровня гигиенических свойств и подвергающейся в процессе эксплуатации существенным механическим воздействиям, рекомендуется выбирать 2-слойные КСМ структурного *типа 1*, обладающие высокой паропроницаемостью, водонепроницаемостью и стабильностью водонепроницаемости при многоцикловых механических воздействиях;

- одежда, подвергающаяся в процессе эксплуатации частым стиркам и не испытывающая значительного воздействия механических факторов, будет обладать длительным ресурсом материалов верха в случае изготовления из 2,5-слойных КСМ структурного *типа 3*;

- КСМ структурных *типов 4 и 5*, содержащие 3 слоя, рекомендуется применять в качестве материалов верха при изготовлении облегченных изделий без подкладки, для которых ресурс водонепроницаемости материалов не является критерием выбора, поскольку высокий начальный уровень водозащитных свойств этих материалов нестабилен в процессе эксплуатации.

2. Возможность практического применения методики и прибора для исследования водонепроницаемости текстильных материалов на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» подтверждена справкой. Экономический эффект, ожидаемый от уменьшения стоимости испытаний за счет снижения затрат времени и уменьшения расхода материала для 5 артикулов водозащитных материалов, в ценах на 1.01.2015г. составил 14, 039 млн. руб. Инновационный проект «Портативный прибор для определения водонепроницаемости текстиля», представленный на конкурсе «Новые горизонты 2015» и предусматривающий использование прибора для контроля водозащитной функции снаряжения и экипировки туристических и спортивных организаций, получил диплом первой степени как перспективный для внедрения в производство.

3. Разработанные рекомендации по конфекционированию водонепроницаемых материалов для одежды и конструкторско-технологические решения моделей экипировки спортивной водозащитной одежды используются на швейных предприятиях ЗАО ОПТФ «Світанак» (г. Орша), ОАО «Світанак» (г. Жодино), ЧПТУП «Манитек» (г. Витебск), что подтверждается актами о

внедрении в производство. Ожидаемый экономический эффект от реализации одного спортивного костюма из КСМ, рассчитанный в ценах на 1.01.2015 г. для условий ОАО «Світанак» (г. Жодино), составил 120 021 белорусских рублей. Фактический экономический эффект от реализации 10 комплектов спортивной экипировки для ЗАО ОПТФ «Світанак» в ценах на 1.01.2015 г. составил 2, 05 млн. руб. Ожидаемый экономический эффект от реализации 20 спортивных утепленных курток для ЧПТУП «Манитек» в ценах на 1.01.2016 г. составил 238,6 руб. Изготовленная спортивная экипировка получила положительные отзывы тренерско-преподавательского состава ДЮСШ «Альбатрос».

4. Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

5. В перспективе данные сравнительного анализа свойств КСМ и плащевых и курточных тканей с водоотталкивающей отделкой могут послужить основанием для совершенствования нормативной и приборной базы оценки эксплуатационных свойств КСМ.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в научных рецензируемых журналах:***

1. Буркин, А. Н. Оценка уровня качества водозащитных материалов / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Потребительская кооперация. – 2015. – №2(49). – С. 50 – 55.

2. Панкевич, Д. К. Оценка влагопроницаемости мембранных материалов / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин // Дизайн и технологии. – 2015. – № 45. – С. 58 – 61.

3. Панкевич, Д. К. Методика оценки качества водонепроницаемых композиционных слоистых материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Вестник Витеб. гос. технол. ун-та. – 2016. – № 1(30). – С. 40 – 48.

4. Буркин, А. Н. Водонепроницаемость текстильных материалов. Разработка методики и прибора для исследования / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Стандартизация. – 2016. – Вып.4. – С. 52 – 59.

### ***Статьи в сборниках научных трудов и научно-практических журналах:***

5. Буркин, А. Н. Методы оценки водозащитных свойств материалов: классификация, показатели, нормативная база / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Стандартизация. – 2014. – Вып. 2. – С. 49 – 54.

6. Панкевич, Д. К. Влияние многоциклового нагружения на водонепроницаемость мембранных материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе

интеграции университетской науки и индустрии. Образование – наука – производство : сб. ст. / Казан. нац. исслед. технол. ун-т ; редкол.: Л. Н. Абуталипова, В. В. Хамматова, Т. А. Федорова. – Казань, 2016. – С.272 – 278.

7. Панкевич, Д. К. Совершенствование методической и приборной базы оценки эксплуатационных свойств водонепроницаемых материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Союз науки и практики: актуальные проблемы и перспективы развития товароведения : сб. ст. / Белорус. торг.-экон. ун-т. потреб. кооперации; редкол.: С. Н. Лебедева, А. П. Бобович, В. Е. Сыцко, Е. В. Рощина. – Гомель, 2016. – С.63 – 67.

### ***Материалы конференций:***

8. Панкевич, Д. К. Ассортимент и свойства мембранных материалов, используемых в производстве одежды для спорта и активного отдыха / Д. К. Панкевич // Качество товаров: теория и практика : материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 15-16 нояб. 2012 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2012. – С.204 – 206.

9. Буркин, А. Н. Анализ методов оценки водозащитных свойств текстильных материалов / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Технологии и управление: проблемы, идеи, инновации: материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Тверь, 21 – 22 нояб. 2013 г. / ФГБОУ ВПО Московск. гос. ун-т технол. и управл. им. К. Г. Разумовского, филиал в г. Твери; редкол.: Г. П. Бескорвайная, И. С. Корягин. – Тверь, 2013. – С.52 – 55.

10. Буркин, А. Н. К вопросу о комплексной оценке качества одежды для спорта и активного отдыха / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 27–28 нояб. 2013 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Т. П. Бондарева [и др.]. – Витебск, 2013. – С. 177 – 179.

11. Панкевич, Д. К. Влияние многоциклового нагружения на паропроницаемость плащевых материалов / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Ю. М. Кукушкина // Теоретические знания – в практические дела : сб. ст. 15 междунар. науч.-иннов. конф. аспирантов, студентов и молодых исследователей с элементами научной школы, Омск, 1– 8 апр. 2014 г. / ФГБОУ ВПО Московск. гос. ун-т технол. и управл. им. К. Г. Разумовского, филиал в г. Омске; редкол.: И. А. Прозорова, А. Ю. Шонин, Т. И. Соснова. – Омск, 2014. – Ч. 1. – С. 86–90.

12. Панкевич, Д. К. Место мембранных материалов в классификации материалов для одежды / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, А. И. Гамульская // Теоретические знания – в практические дела : сб. ст. 15 междунар. науч.-иннов. конф. аспирантов, студентов и молодых исследователей с элементами научной школы, Омск, 1– 8 апр. 2014 г. / ФГБОУ ВПО Московск. гос. ун-т технол. и

управл. им. К. Г. Разумовского Филиал в г. Омске; редкол.: И. А. Прозорова, А. Ю. Шонин, Т. И. Соснова. – Омск, 2014. – Ч. 1. –С. 84–86.

13. Панкевич, Д. К. Влияние многоциклового нагружения на разрывные характеристики плащевых материалов / Д. К. Панкевич, Ю. М. Кукушкина // Материалы докладов 47 междунар. науч.-технич. конф. преп. и студ., Витебск, 23 апр. 2014г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2014. – С.331 – 334.

14. Панкевич, Д. К. Исследование паропроницаемости мембранных материалов методом сорбента / Д. К. Панкевич // Материалы докладов 47 междунар. науч.-технич. конф. преп. и студ., Витебск, 23 апр. 2014 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2014. – С.355 – 357.

15. Панкевич, Д. К. Анализ показателей качества материалов для водозащитной одежды / Д. К. Панкевич, А. Н. Радюк, А. Н. Буркин // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы 5-й междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 24 – 25 сент. 2014г. / ГУО ВПО Белорусско-Российск. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2014. –С. 125-127.

16. Панкевич, Д. К. Применение методики многоциклового нагружения для оценки изменчивости физико-механических свойств водозащитного материала в процессе эксплуатации / Д. К. Панкевич, Ю. М. Кукушкина // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 26 – 27 нояб. 2014г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2014. –С.194 – 196.

17. Панкевич, Д. К. Сравнительная характеристика влагообменных свойств водозащитных материалов / Д. К. Панкевич // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 26 – 27 нояб. 2014г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2014. –С. 453 – 455.

18. Панкевич, Д. К. Влияние структуры на паропроницаемость и водопоглощение композиционных слоистых материалов / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, О. В. Лобацкая, Е. М. Лобацкая // Материалы докладов 48 междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., Витебск, 29 апр. 2015г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015 – С.305 – 308.

19. Варивода, В. В. Анализ исходных условий проектирования спортивной одежды байдарочников и каноистов / В. В. Варивода, Д. К. Панкевич, С. С. Алахова, Ю. М. Затора // Материалы докладов 48 междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., Витебск, 29 апр. 2015г. / Витебский гос. технол. ун-т ;редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015 –С. 216 – 218.

20. Панкевич, Д. К. Портативный прибор для контроля водонепроницаемости /Д. К. Панкевич // Форум проектов программ Союзного

Государства. IV форум ВУЗов инженерно-технологического профиля : сб. материалов форума, Минск, 9 – 14 нояб. 2015г. / Белорус. нац. технич. ун-т. – Минск, 2015. – С. 74 – 78.

21. Варивода, В. В. Зависимость линейных параметров конструкции спортивной одежды от характеристики движений тела человека / В. В. Варивода, С. С. Алахова, Д. К. Панкевич, А. В. Пантелеева // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности «Инновации – 2015» : материалы междунар. науч.-техн. конф., Москва, 17 – 18 нояб. 2015 г. / Моск. гос. ун-т дизайна и технологии ; редкол.: В. С. Белгородский (гл. ред.) [и др.]. – М., 2015. – Ч 1. – С. 112 – 115.

22. Панкевич, Д. К. Исследование влияния стирок на свойства мембранных материалов / Д. К. Панкевич, Е. М. Лобацкая, И. А. Дорошенко // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности «Инновации – 2015» : материалы междунар. науч.-техн. конф., Москва, 17 – 18 нояб. 2015 г. / Моск. гос. ун-т дизайна и технологии ; редкол.: В. С. Белгородский (гл. ред.) [и др.]. – М., 2015. – Ч 2. – С. 31-34.

23. Панкевич, Д. К. Исследование паропроницаемости водозащитных композиционных слоистых материалов / Д. К. Панкевич, Е. М. Лобацкая // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 25–26 нояб. 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 77–79.

24. Панкевич, Д. К. Исследование водонепроницаемости композиционных слоистых материалов / Д. К. Панкевич // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 25 – 26 нояб. 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 79–81.

25. Варивода, В. В. Проектирование элементов вентиляции пододежного пространства спортивной одежды байдарочников / В. В. Варивода, Д. К. Панкевич, А. В. Пантелеева, И. П. Овчинникова // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы докладов междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 25 – 26 нояб. 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2015. – С.139-141.

26. Панкевич, Д. К. Оптимизация качества ниточных соединений деталей спортивной одежды из композиционных материалов / Д. К. Панкевич // Моделирование в технике и экономике : материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 23–24 марта 2016г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич (гл. ред.). – Витебск, 2016. – С.136-138.

**Тезисы докладов:**

27. Панкевич, Д. К. Оценка качества материалов как средство потребительской политики / Д. К. Панкевич // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость :7международ. науч.-практ. конф., Минск, 25 – 26 сент. 2014 г.: тез. докл. / Белор. гос. экон. ун-т; редкол.: В. Н. Шимов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С.229 – 230.

28. Варивода, В. В. Исходные условия проектирования одежды для гребных видов спорта / В. В. Варивода, Д. К. Панкевич, С. С. Алахова, А. В. Пантелеева // 48 международ. науч.-техн. конф. преп. и студ., Витебск, 29 апр. 2015г. : тез. докл. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С.140-141.

29. Панкевич, Д. К. Исследование влияния эксплуатационных нагрузок на свойства мембранных материалов / Д. К. Панкевич, О. В. Лобацкая, Я. В. Иванова, Е. В. Рагиня, Е. Г. Кучинская, // 48 международ. науч.-техн. конф. преп. и студ., Витебск, 29 апр. 2015г. : тез. докл. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 146-147.

30. Семенчуков, К. В. Исследование структуры композиционных слоистых материалов, содержащих мембранный слой / К. В. Семенчуков, Р. Ю. Моховиков, Д. К. Панкевич, И. А. Дорошенко, Е. М. Лобацкая // 48 международ. науч.-техн. конф. преп. и студ., Витебск, 29 апр. 2015г. : тез. докл. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 188.

**Патенты на полезную модель:**

31. Прибор для испытания материалов для одежды и обуви : полез. модель ВУ10745 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна, Ю. М. Кукушкина, Е. В. Бондарева, О. А. Петрова-Буркина. – опубл.01.08.2014.

32. Прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления: полез. модель ВУ10690 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна. – опубл.30.06.2015.

## РЭЗІЮМЭ

Панкевіч Дар'я Канстанцінаўна

### **Ацэнка эксплуатацыйных уласцівасцяў кампазіцыйных слаістых тэкстыльных матэрыялаў для водаахоўнага адзення**

**Ключавыя словы:** эксплуатацыйныя ўласцівасці, воданепранікальнасць, паранепранікальнасць, кампазіцыйныя слаістыя матэрыялы, структура, методика, прыбор, адзенне, комплексная ацэнка, эксперыментальная носка.

**Мэта работы:** распрацоўка метадаў і сродкаў ацэнкі эксплуатацыйных уласцівасцяў кампазіцыйных слаістых матэрыялаў розных структур для водаахоўнага адзення.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** структура матэрыялаў даследавана метадамі аптычнай і электроннай растравай мікраскапіі пры дапамозе мікраскопаў МС-1 і МІ-1Т; для даследавання фізіка-механічных уласцівасцяў былі выкарыстаныя: электронныя шалі Radwag AS 220 / С / 2; разрыўная машына РТ-250 - 2М; прыбор для вызначэння ўстойлівасці да шматразовага выгібу ППК-2М; аналізатар вільготнасці «Radwag» М-50 для даследавання паранепранікальнасці; прыбор SERTO 461 для даследавання воданепранікальнасці; прыбор ES - 3 для вызначэння водаадштурхальнасці. Выкарыстаны метады аналізу і класіфікацыі, матэматычнай статыстыкі, комплекснай ацэнкі ўзроўню якасці, эксперыментальнай носкі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацавана метадычная і прыборная база комплекснай ацэнкі эксплуатацыйных уласцівасцяў кампазіцыйных слаістых матэрыялаў, якая дазволіць праводзіць навукова абгрунтаваны падбор матэрыялаў для водаахоўнага адзення; атрыманы новыя дадзеныя пра ўплыў структуры кампазіцыйных слаістых матэрыялаў на іх эксплуатацыйныя ўласцівасці, што дазваляе прагназаваць узровень стабільнасці водаахоўнай функцыі адзення ў працэсе эксплуатацыі.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** распрацаваныя прыборы і методікі могуць быць выкарыстаны ў выпрабавальных цэнтрах, навукова-даследчых лабараторыях для даследавання матэрыялаў з высокім узроўнем воданепранікальнасці або для кантролю водаахоўнай функцыі рыштунку і экіпіроўкі турыстычных і спартыўных арганізацый, рэкамендацыі па выбару матэрыялаў могуць быць выкарыстаны швейнымі прадпрыемствамі пры праектаванні водаахоўнага адзення.

**Вобласць ужывання:** атрыманыя вынікі могуць быць рэалізаваны ў тэкстыльнай і швейнай прамысловасці для даследавання ўласцівасцяў, ацэнкі якасці і падбору матэрыялаў для водаахоўнага адзення.

## РЕЗЮМЕ

Панкевич Дарья Константиновна

### **Оценка эксплуатационных свойств композиционных слоистых текстильных материалов для водозащитной одежды**

**Ключевые слова:** эксплуатационные свойства, водонепроницаемость, паропроницаемость, композиционные слоистые материалы, структура, методика, прибор, одежда, комплексная оценка, экспериментальная носка.

**Цель работы:** разработка методов и средств оценки эксплуатационных свойств композиционных слоистых материалов различных структур для водозащитной одежды.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** структура материалов исследована методами оптической и электронной растровой микроскопии при помощи микроскопов МС-1 и МИ-1Т; для исследования физико-механических свойств были использованы: электронные весы RadwagAS 220/C/2; разрывная машина РТ-250 – 2М; прибор для определения устойчивости к многократному изгибу ИПК-2М; анализатор влажности «Radwag» М-50 для исследования паропроницаемости; прибор SERTO 461 для исследования водонепроницаемости; прибор ES – 3 для определения водоотталкивания. Используются методы анализа и классификации, математической статистики, комплексной оценки уровня качества, экспериментальной носки.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана методическая и приборная база комплексной оценки эксплуатационных свойств композиционных слоистых материалов, которая позволит проводить научно обоснованный подбор материалов для водозащитной одежды; получены новые данные о влиянии структуры композиционных слоистых материалов для водозащитной одежды на их эксплуатационные свойства, что позволяет прогнозировать уровень стабильности водозащитной функции одежды в процессе эксплуатации.

**Рекомендации по использованию:** разработанные приборы и методики могут быть использованы в испытательных центрах, научно-исследовательских лабораториях для исследования материалов с высоким уровнем водонепроницаемости или для контроля водозащитной функции снаряжения и экипировки туристических и спортивных организаций, рекомендации по выбору материалов могут быть использованы швейными предприятиями при проектировании водозащитной одежды.

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

## SUMMARY

Darya Pankevich

### **Evaluation of the performance properties of composite laminated textile materials for waterproof clothes**

**Keywords:** performance properties, water resistance, vapor permeability, composite laminates, structure, methods, apparatus, clothing, comprehensive assessment, experimental wear.

**Purpose of research:** development of methods and tools for evaluation of operational properties of composite laminates of various structures for waterproof clothing.

**Research methods and equipment used:** the structure of the materials studied by optical and scanning electron microscopy using a microscope MC-1 and Mi-1T; for the study of physical and mechanical properties were used instrumental methods and instrument base of the department "Standardization" of "VSTU" and the laboratories of "Mogotex", "Silk-Wearing Factory": electronic scales Radwag AS 220 / C / 2; breaking machine RT-250 - 2M; device for determining the resistance to flexing IPK-2M; test kit «Sampler 2000" and the moisture analyzer «Radwag» M-50 for the study of water vapor permeability; SERTO device 461 and a method of high hydrostatic pressure to study water resistance; device ES - 3 for the determination of water repellency. The methods of analysis and classification, mathematical statistics, a comprehensive assessment of the quality level, the method of experimental wear are used in research.

**The results and their novelty:** The methodical and instrument base a comprehensive assessment of the performance properties of composite laminates for waterproof clothing that will allow for a scientifically based selection of materials for clothing; studied and obtained new data on the impact of the structure of composite laminates for waterproof clothes on their performance properties, that allows to predict the stability of the level of waterproof clothing features are in use.

**Recommendations about using:** developed tools and techniques can be used in test centers, research laboratories for the study of materials with a high level of water resistance or to control waterproof function equipment and outfitting tourist and sports organizations, confectioning materials recommendations can be used by clothing enterprises in the design waterproof clothing.

**Fields of application:** the results can be implemented in the textile and clothing industry for the study of the properties, quality assessment and confectioning materials for waterproof clothes.

**ПАНКЕВИЧ  
ДАРЬЯ КОНСТАНТИНОВНА**

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОИСТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
ВОДОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 12.04.2017. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 1,8. Тираж 70. Заказ № 132.

Отпечатано на ризографе ЦИТ УО «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12.02.2014.