МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Витебский государственный технологический университет

А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МОНОГРАФИЯ

Витебск
2020

УДК 677.017.87:677.077.625.121
ББК 37.23
Б 91

Рецензенты:

действительный член Российской и Международной инженерной академии, председатель научно-методического совета по направлению «Технологии и проектирование текстильных изделий», член Президиума ФУМО ВО УГСН «Технологии легкой промышленности», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы ФГБОУ ВО Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Шустов Ю. С.;

д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси Гольдаде В. А.

Рекомендовано к изданию Советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 24.12.2019.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 10 от 30.12.2019.

Буркин, А. Н.

Б 91 Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов : монография / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич / под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 190 с.

ISBN 978-985-481-643-2

В настоящей монографии обобщены как известные литературные данные, так и собственные работы авторов, связанные с классификацией, изучением структуры, методов и средств определения показателей гигиенических свойств мембранных текстильных материалов для изделий легкой промышленности.

Издание предназначено для научных сотрудников, инженерно-технических работников обувных и швейных предприятий, студентов, магистрантов и аспирантов. Монография может быть полезна в качестве учебного материала при изучении курсов «Материаловедение», «Товароведение одежно-обувных товаров», «Производственные технологии» и других дисциплин.

УДК 677.017.87:677.077.625.121
ББК 37.23

ISBN 978-985-481-643-2

© УО «ВГТУ», 2020

Витебский государственный технологический университет

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5

Глава 1. Структура и свойства мембранных текстильных материалов 8
1.1 История возникновения и развития мембранных технологий в текстиле 8
1.2 Структура композиционных текстильных материалов, содержащих мембранный слой 12
1.3 Технологии получения композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембрану 20
1.4 Классификация мембранных текстильных материалов 26
Литература 28

Глава 2. Исследование структуры мембранных текстильных материалов 32
2. 1 Исследование структуры мембранных текстильных материалов методом оптической микроскопии 32
2.2 Исследование структуры мембранных текстильных материалов методом сканирующей электронной микроскопии 40
Литература 52

Глава 3. Оценка гигиенических свойств мембранных текстильных материалов различных структур 53
3.1 Анализ условий эксплуатации одежды из мембранных текстильных материалов и обоснование показателей их гигиенических свойств 53
3.2 Сорбционные свойства мембранных текстильных материалов 59
3.3 Проницаемость мембранных текстильных материалов 67
3.3.1 Методы и средства определения паропроницаемости 68
3.3.2 Исследование паропроницаемости мембранных текстильных материалов различными методами 81
3.3.3 Методы и средства определения водонепроницаемости 91
Литература 111

Витебский государственный технологический университет

Глава 4. Разработка методики и прибора для исследования водонепроницаемости мембранных текстильных материалов 118
4.1 Обоснование необходимости совершенствования методик и средств определения водонепроницаемости 120
4.2 Конструкция портативного прибора для определения водонепроницаемости текстильных материалов 124
4.3 Методика исследования водонепроницаемости текстильных материалов портативным прибором 126
4.4 Сопоставление результатов исследований 135
Литература 148

Глава 5. Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов различных структур в эксплуатации 151
5.1 Исследование изменения водонепроницаемости материалов после моделирования механических эксплуатационных воздействий 154
5.2 Исследование изменения гигиенических свойств материалов после стирки 160
5.3 Исследование изменения водонепроницаемости мембранных текстильных материалов в различных температурно-влажностных условиях 168
5.4 Исследование изменения свойств мембранных текстильных материалов после эксплуатации 172
Литература 182

Заключение 186

Витебский государственный технологический университет

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие идей здорового образа жизни и активного отдыха обусловило рост потребительского спроса на комфортную одежду и обувь, защищающую человека от воздействия неблагоприятных погодных условий. Поэтому проблема развития ассортимента материалов, защищающих от ветра, снега и дождя, но и обладающих высоким уровнем гигиенических свойств, является актуальной и особенно остро ощущается производителями изделий легкой промышленности на этапе конфекционирования, а производителями материалов – на этапе прогнозирования и оценки уровня их качества.

Композиционные слоистые текстильные материалы, содержащие мембранный слой, находят все более широкое применение в легкой промышленности. Они представляют собой объемное сочетание текстильных и полимерных слоев с четкой границей раздела между ними. Областью применения таких материалов является производство водозащитной бытовой, спортивной, специальной одежды и обуви, экипировки, бивачного снаряжения для активного отдыха. Мембраны, входящие в состав композита, обеспечивают удивительную комбинацию гигиенических свойств. Они являются барьером для атмосферных осадков, но проницаемы для парообразной влаги. Показатель паропроницаемости мембранных текстильных материалов является основным при установлении уровня их комфортности. Показатель водонепроницаемости считается определяющим при оценке их качества, поскольку по назначению мембранные текстильные материалы – водозащитные.

Отличительной особенностью таких материалов, определяющей их потребительскую ценность, является наличие полимерного мембранного слоя, который обеспечивает селективную проницаемость слоистого материала по отношению к влаге. Соединение мембраны и текстильного слоя характеризуется прочностью и устойчивостью к физико-механическим воздействиям, которые свойственны текстилю. А вот физико-химические процессы тепло- и массопереноса через толщу композиционного материала, обеспечивающие комплекс гигиенических свойств, обусловлены в основном структурой и химическим составом мембранного слоя.

Исторически ассортимент мембранных текстильных материалов очень развит в США, Японии, Великобритании, Канаде, Германии, Франции. Начав первыми, эти страны сегодня уступают в гонке высоких технологий создания композиционных текстильных материалов Южной Корее, Индии и Китаю. В Республике Беларусь производством мембранных текстильных материалов более 10 лет занимается ОАО «Моготекс». Однако отсутствие систематизированных

Витебский государственный технологический университет

данных о влиянии структурных характеристик на свойства мембранных текстильных материалов создает препятствия для выпуска высококачественных продуктов с заданными свойствами, научно обоснованного выбора материалов в пакет швейного изделия, прогнозирования свойств мембранных текстильных материалов в процессе эксплуатации. В Республике Беларусь наблюдается острый дефицит научных исследований в области гигиенических свойств мембранных текстильных материалов. Неизвестно, какая структура предпочтительна для получения материала с высоким уровнем гигиенических свойств, каковы наиболее общие закономерности и связи между параметрами структуры мембранных текстильных материалов и их гигиеническими свойствами. Насколько близки по гигиеническим свойствам водонепроницаемые материалы, содержащие мембранный слой, и плащевые материалы с водоотталкивающей отделкой или пленочным покрытием, какие методы и средства применять для исследования свойств, какой нормативной базой пользоваться? Ответы на эти вопросы необходимы для повышения уровня качества изделий легкой промышленности из мембранных текстильных материалов.

Авторы монографии предлагают посмотреть на проблему гигиенических свойств мембранных текстильных материалов с точки зрения структурных особенностей этих материалов и условий эксплуатации, изучив предварительно методы и технические возможности средств определения гигиенических свойств, нормативную базу и международный опыт. В монографии собраны результаты работы, выполненной Д.К. Панкевич под руководством д.т.н., профессора А. Н. Буркина в разные годы. Все главы монографии написаны ученицей А. Н. Буркина Д. К. Панкевич под его общим руководством. Вниманию читателя предлагается результат многолетней работы авторов, проводимой как в условиях лаборатории, так и путем наблюдения за изделиями, находящимися в эксплуатации. Предлагаемый методологический подход к исследованию гигиенических свойств мембранных текстильных материалов основан на изучении структуры и моделировании условий эксплуатации материалов и позволяет расширить базу данных экспериментальных исследований новых многофункциональных материалов, создавая предпосылки для управления гигиеническими свойствами изделий легкой промышленности из мембранных текстильных материалов.

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность д.т.н., профессору В. А. Гольдаде и д.т.н., профессору Ю. С. Шустову за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи монографии. В разные годы рецензентами наших публикаций в данной области были: ректор Витебского государственного технологического университета д.т.н., профессор А. А. Кузнецов; д.т.н., профессор кафедры технологии текстильных материалов Витебского

Витебский государственный технологический университет

государственного технологического университета А. Г. Коган, 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, д.т.н., профессор С. Д. Николаев; директор Республиканского института инновационных технологий Белорусского национального технического университета д.т.н., профессор В. Л. Соломахо; д.т.н., профессор Российского университета кооперации Ф. А. Петрище; профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и производства (филиал ДГТУ в г. Шахты), д.т.н., профессор Прохоров В. Т. и многие другие, которым авторы приносят благодарность за участие в оценке работ.

Монография предназначена для широкого круга читателей, специализирующихся в области обувного, швейного, текстильного производства и метрологического обеспечения этих отраслей. Разделы монографии касаются вопросов материаловедения и товароведения текстильного, швейного и обувного производств и могут быть полезны инженерно-техническому персоналу предприятий, студентам, магистрантам и аспирантам соответствующих учебных заведений.

Витебский государственный технологический университет

ГЛАВА 1
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 История возникновения и развития мембранных технологий в текстиле

Свойства материалов для одежды принято оценивать с использованием их количественной характеристики – показателей свойств. Номенклатура этих показателей зависит от назначения, структуры материалов, их волокнистого состава, фиксируется в стандартах, и, как правило, обеспечивается стандартными методами и средствами определения показателей свойств, а также их нормативными рекомендуемыми значениями. Поэтому в определении показателей свойств материалов значительную роль играет установление принадлежности исследуемого материала к классификационной группировке, выделяемой по какому-либо признаку. Это обусловливает методы и средства испытаний, ориентирует исследователя относительно диапазона значений исследуемых показателей.

В практике текстильного материаловедения принято использование стандартной классификации, в основу которой положены признаки сырьевого состава, назначения, способа производства материала и вида его основной и дополнительной отделки [1, 2, 3].

Другая распространенная классификация материалов для одежды, разработанная Центральным научно-исследовательским институтом швейной промышленности (ЦНИИШП), предлагает иерархическую схему с разделением по назначению, способу производства, волокнистому составу, в зависимости от вида одежды – по сезону и половозрастному признаку [4–7].

В соответствии с этими классификациями мембранные материалы можно отнести к плащевым материалам с пленочным покрытием, либо к искусственным мягким кожам, некоторые – к комплексным или дублированным материалам. Вот как высказывался о несовершенстве существующих классификаций текстильных материалов д.т.н., профессор А.В. Куличенко: «Существующая в учебниках по текстильному материаловедению классификация волокон и текстиля создана 50-60 лет назад и устарела, тем более что она базируется в основном на волокнах и волокнистых материалах бытового назначения. Она совершенно не учитывает многие современные виды волокон и текстиля для других областей применения» [8]. К сожалению, вопрос об

Витебский государственный технологический университет

универсальной классификации текстильных материалов до настоящего времени не решен.

Попытка определить место мембранных текстильных материалов для одежды в упомянутых классификациях не увенчалась успехом. Номенклатура показателей качества, рекомендуемая для их оценки, оказывалась неполной, а номинальные значения показателей – далекими от данных, заявляемых лучшими зарубежными производителями.

Это связано с тем, что мембранные материалы, различные по сырьевому составу и способу производства, представляют особенную категорию, объединенную по признаку наличия в их составе мембраны. Мембрана – разделяющая фаза, находящаяся между двумя другими фазами и действующая как активный или пассивный барьер в процессе переноса вещества между этими фазами под действием движущей силы [9]. Слово «мембрана» имеет латинское происхождение и означает «кожица», «перепонка». В технологии под мембраной понимают перегородку, обладающую различной проницаемостью по отношению к отдельным компонентам жидких и газовых неоднородных смесей.

При внешнем сходстве процессов фильтрования и мембранного разделения между ними есть принципиальное отличие. В ходе фильтрования хотя бы один из компонентов газовой или жидкой смеси задерживается и фиксируется внутри фильтрующей перегородки. Это приводит к тому, что перегородка постепенно забивается и осуществление процесса фильтрования на ней без очистки делается практически невозможным. В отличие от фильтра мембрана не фиксирует в себе ни один из компонентов разделяемой жидкой или газовой смеси, а только делит первоначальный поток на два, один из которых обогащен по сравнению с исходным каким-либо компонентом. Такой принцип действия мембраны делает ее срок службы практически неограниченным, без заметного изменения в эффективности разделения смесей.

В зависимости от материала, из которого изготовляют мембраны, их делят на полимерные, металлические, стеклянные, керамические или композиционные.

По механизму мембранного действия различают диффузионные, адсорбционные и ионообменные мембраны. В текстильном производстве используют полимерные диффузионные и адсорбционные мембраны, которые значительно улучшают потребительские качества текстильных материалов за счет того, что являются барьером для капельно-жидкой влаги, но проницаемы для парообразной влаги.

В зависимости от природы полимера, образующего мембрану, барьерная функция или селективность мембраны проявляется в термомембранных, баромембранных, электромембранных процессах. Морфология мембраны и движущая сила трансмембранного переноса – градиент давления или температуры, разность потенциалов – определят

Витебский государственный технологический университет

условия выполнения селективной функции мембраны, а, следовательно, качество мембранного материала определенного назначения. Применительно к одежным материалам интерес представляет непроницаемость мембраны для капель воды (атмосферных осадков) наряду с её паропроницаемостью. Эти два показателя качества – водонепроницаемость и паропроницаемость – указывают в маркировке ведущие производители одежды из мембранных материалов.

Согласно общей классификации материалов мембранные текстильные материалы для одежды можно отнести к композиционным. Определение термина дает политехнический словарь:

Композиционные материалы (от лат. composition – сочетание) – материалы, образованные объёмным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. Характеризуются свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов, взятый в отдельности [10]. Действительно, мембрана, нанесенная на текстильную основу, обладает селективным свойством, но является непрочной, легкой, растяжимой. Текстильная основа добавляет композиционному материалу устойчивость к деформациям, стойкость к истиранию, массу, жесткость, формоустойчивость, а сама по себе не имеет возможности избирательного транспортирования влаги. Химическая разнородность также присуща мембранным текстильным материалам. Согласно классификации композиционных материалов, представленной в источнике [11], по структуре мембранные текстильные материалы являются слоистыми.

Таким образом, авторы монографии предлагают остановиться на термине «***композиционные слоистые текстильные материалы, содержащие мембранный слой (КСТМ)***», а для удобства принять укороченную версию, отражающую сущность таких материалов – «мембранные», тем более что англоязычная версия термина membrane является общепринятой в текстильной промышленности их первооткрывателей. Еще один термин, введенный для обозначения мембранных текстильных материалов, используется в ряде англоязычных источников литературы – waterproof and breathable fabrics – водонепроницаемые и дышащие материалы [12–14].

Впервые о водонепроницаемом ветрозащитном, но паропроницаемом материале для одежды мир услышал в 1976 году, когда инженер-химик Роберт Гор смог успешно коммерциализовать идею своего отца Уилберта Гора, проводившего опыты по исследованию свойств политетрафторэтилена (PTFE, тефлон). Роберт добился превращения твердого гидрофобного PTFE в микропористую структуру, содержащую около 70 % воздуха [15]. Расширенный PTFE (ePTFE) содержал 1,4 миллиарда крошечных отверстий на квадратный сантиметр [12]. Однако первоначально созданная мембрана быстро загрязнялась моющими средствами, выделениями сальных желез и

Витебский государственный технологический университет

потом. Этот недостаток материала талантливый инженер преодолел, нанеся на слой ePTFE полиуретановое (ПУ) гидрофильное покрытие. Долгое время композиционные слоистые текстильные материалы, содержащие мембрану, выпускались только фирмой «Гор-текс».

В 1986 году голландская группа компаний Akzo Nobe заявила о создании гидрофильной водонепроницаемой паропроницаемой полиэфирной мембраны и вывела на рынок торговую марку Simpate. Развитие мембранных технологий в текстиле с этого времени приобрело три направления:

1. Создание монолитных непористых мембран из гидрофильных полимеров.

2. Получение и модификация пористых мембран из гидрофобных полимеров.

3. Разработка комбинированных мембран.

В 1990 году срок действия патента на мембрану «Гор-текс» истек, что позволило многочисленным фирмам активно создавать новые композиционные слоистые мембранные текстильные материалы, расширяя область применения мембранных технологий в текстиле.

Рисунок 1.1 иллюстрирует широту ассортимента изделий из мембранных материалов.

Рисунок 1.1 – Область применения мембранных текстильных материалов

Витебский государственный технологический университет

Сегодня из мембранных материалов изготавливают: спортивные куртки, брюки, комбинезоны; плащи и дождевики; одежду для альпинизма, зимних и гребных видов спорта; непромокаемые гетры, шапки и перчатки; спортивную обувь для туризма и альпинизма; палатки, чехлы на спальные мешки, рюкзаки; специальную защитную одежду, костюмы для выживания и экстремальных видов спорта; одежду пожарных; одежду для чистых помещений, наматрасники и постельное белье; автомобильные чехлы и автокресла; домашний текстиль; зоотехническую и хирургическую одежду, перевязочные материалы и многое другое [12].

1.2 Структура композиционных текстильных материалов, содержащих мембранный слой

В основу классификации КСТМ положено два признака: структура и способ получения. Поэтому сначала необходимо прояснить некоторые положения, отражающие основные особенности этих материалов.

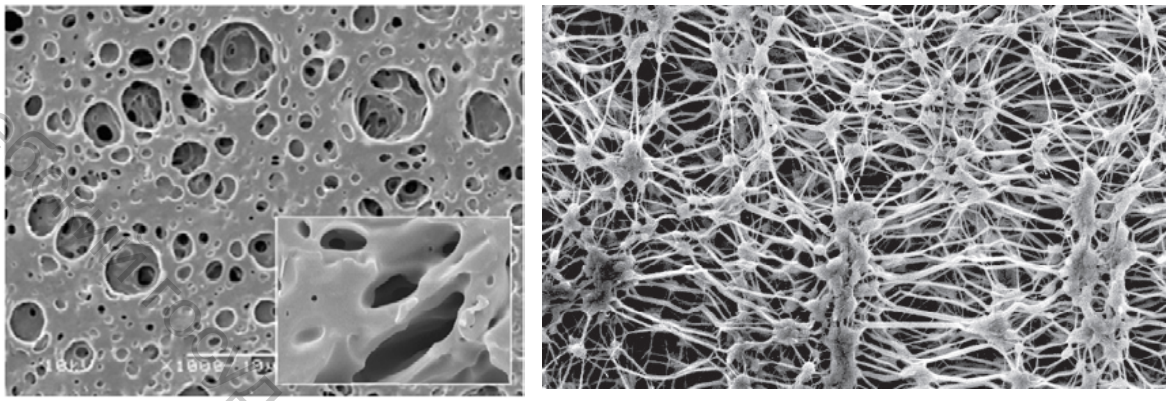
В качестве ***текстильной основы*** мембранных материалов чаще всего используют полиэфирные или полиамидные тканые или трикотажные материалы, выработанные из комплексных или текстурированных нитей. Это связано с высокой прочностью, легкостью, прекрасной свето- и атмосферостойкостью, стойкостью к истиранию и действию органических растворителей, формоустойчивостью, упругостью, высокой устойчивостью к смятию и теплостойкостью полиэфиров и полиамидов [16]. Ценные потребительские свойства и относительно низкая стоимость полиэфира обусловили его большую популярность в качестве сырья для текстильной промышленности – доля полиэфирных волокон в мировом производстве химических волокон составляет в настоящее время свыше 70 % [17].

Для получения ***мембранного слоя*** используют пористые мембраны из гидрофобных полимеров или монолитные диффузионные мембраны из гидрофильных полимеров.

Пористые мембраны из гидрофобных полимеров по своей структуре могут быть корпускулярными или губчатыми. Корпускулярная структура образуется путем сращивания отдельных гранул полимера различной формы и размера с образованием пустот и полостей. Губчатая структура представляет собой сплошную твердую фазу полимера, в которой поры и каналы объединены в общую разветвленную систему. В толще мембранного слоя пористых мембран образуется огромное количество пустот, пор, каналов, связанных между

Витебский государственный технологический университет

собой и обеспечивающих выведение влаги из пространства под одеждой. Изображение, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ-изображение) пористой структуры мембранного слоя из гидрофобного полиуретана (а) и политетрафторэтилена (б), показано на рисунке 1.2.



а) (×1000) *б)* (×5000)

Рисунок 1.2 – СЭМ-изображение пористой мембраны

На рисунке 1.3 схематично показан механизм действия пористой мембраны. Механизм транспортирования влаги из пододежного пространства во внешнюю среду обусловлен массопереносом молекул пара (фазовая проницаемость) через систему сквозных пор под действием градиента давления [18]. Чем больше разница парциальных давлений внутри и снаружи одежды, тем быстрее выводится влага. Получают такие мембраны коагуляцией вспененного полимера на поверхности подложки (ею может быть текстильная основа) либо путем добавления в раствор полимера соответствующих осадителей и порообразующих агентов, которые в дальнейшем при охлаждении водой удаляются из раствора с образованием пористой пленки [12, 19, 20, 21, 22].

Монолитные (беспоровые) мембраны вырабатывают из гидрофильных полимеров. В этом случае атмосферные осадки не проникают в пространство под одеждой благодаря монолитности мембраны и водоотталкивающим свойствам текстильной основы, формирующей лицевой слой композиционного материала. А паропроницаемость мембраны обусловлена сорбцией-диффузией-десорбцией паров влаги (диффузионная проницаемость) посредством аморфных участков полимера через объемную фазу полимера. Движущей силой трансмембранного переноса в данном случае является градиент концентрации молекул воды в полимере [18]. Механизм действия гидрофильной монолитной мембраны представлен на рисунке 1.4 [12].

Витебский государственный технологический университет

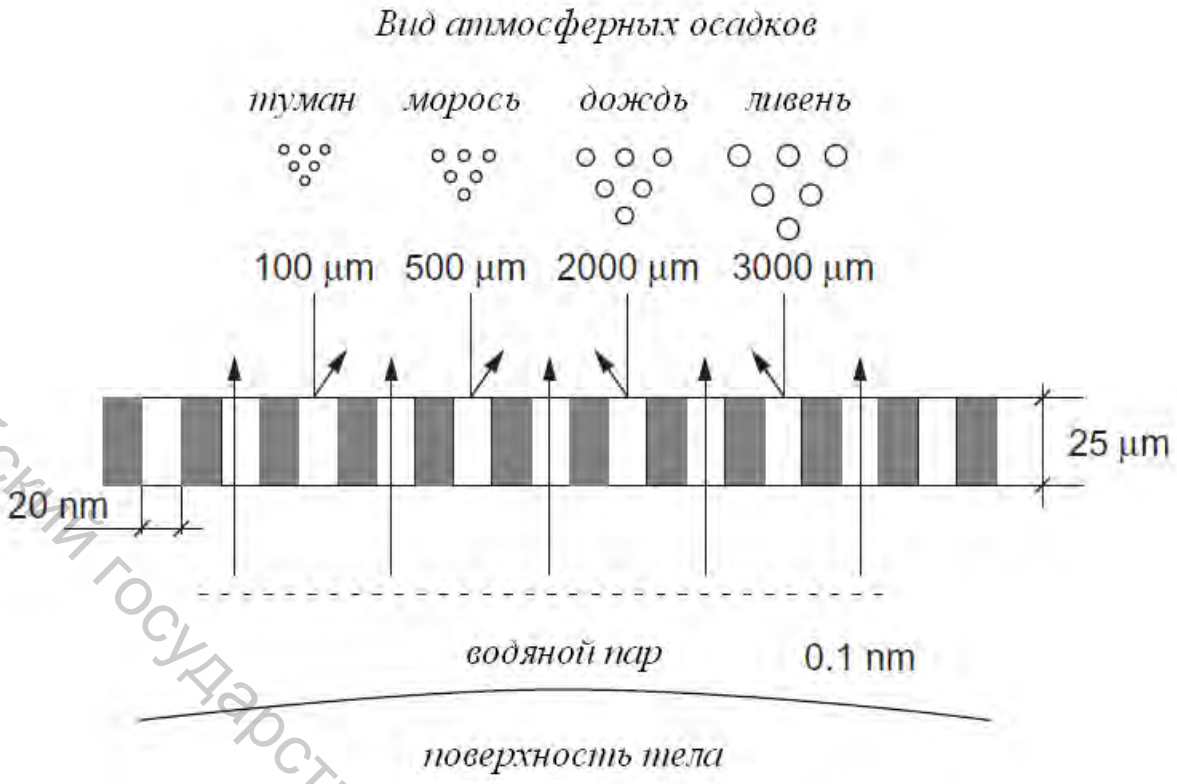


Рисунок 1.3 – Схема механизма действия пористой мембраны

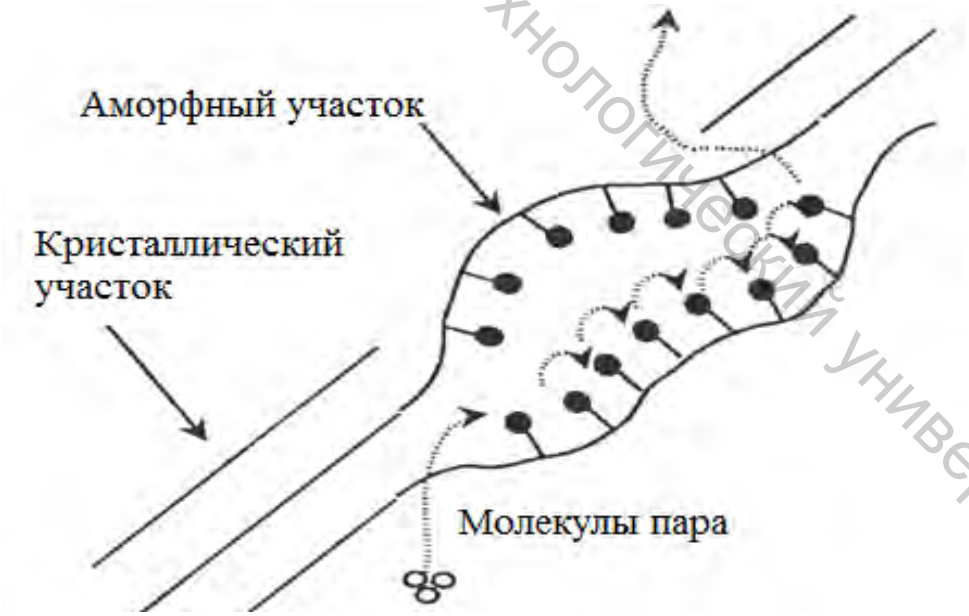


Рисунок 1.4 – Схема механизма действия диффузионной монолитной мембраны

Схема композиционных слоистых материалов, содержащих мембрану, показана на рисунке 1.5.

Витебский государственный технологический университет

Соединенные с текстильной основой однокомпонентные мембраны сообщают композиционному материалу способность к избирательной проницаемости согласно одной из приведенных схем – либо за счет диффузионных процессов в толще монолитного гидрофильного полимера мембраны (рис. 1.5 а), либо посредством фазовой проницаемости через систему сквозных пор гидрофобного полимера мембраны, как показано на рисунке 1.5 б.

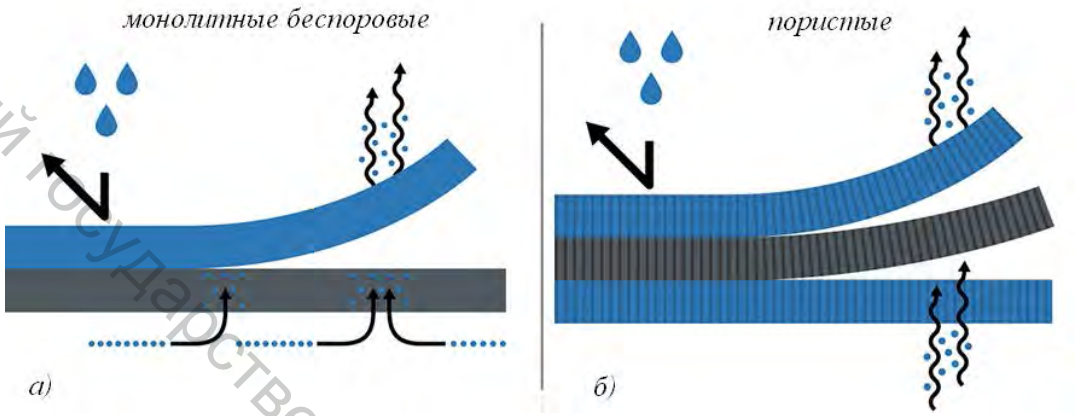


Рисунок 1.5 – Схема композиционных текстильных материалов, содержащих различные мембраны: а) двухслойный мембранный материал с монолитной мембраной; б) трехслойный мембранный текстильный материал с пористой мембраной

Многокомпонентные мембраны могут быть слоистыми или комбинированными. Если гидрофобную мембрану получают коагуляцией на поверхности гидрофильной мембраны или чередуют такие слои, то образуется слоистая мембрана (рис. 1.6). В другом случае гидрофобный и гидрофильный полимеры комбинированной мембраны располагаются не послойно, а чередуются как элементы микроструктуры полимера (рис. 1.7).

Рисунок 1.6 – Схема трехслойного мембранного текстильного материала с многокомпонентной слоистой мембраной

Витебский государственный технологический университет

Для изготовления мембранных текстильных материалов часто используют полиуретаны – полимеры, содержащие характерную уретановую группировку –NH–CO–O–. Популярность этого класса полимеров связана в первую очередь с возможностью получения большого разнообразия окончательной структуры полимерной пленки путем введения в состав цепи полимера различных функциональных группировок, что позволяет варьировать свойствами полиуретановых мембран. Особое место в производстве мембран занимают пенополиэфируретановые эластомеры, характеризующиеся малым удельным весом и высокой степенью пористости: они легко сшиваются, склеиваются и формуются, не поражаются грибками и молью, формоустойчивы, обладают повышенной износостойкостью [23, 24].

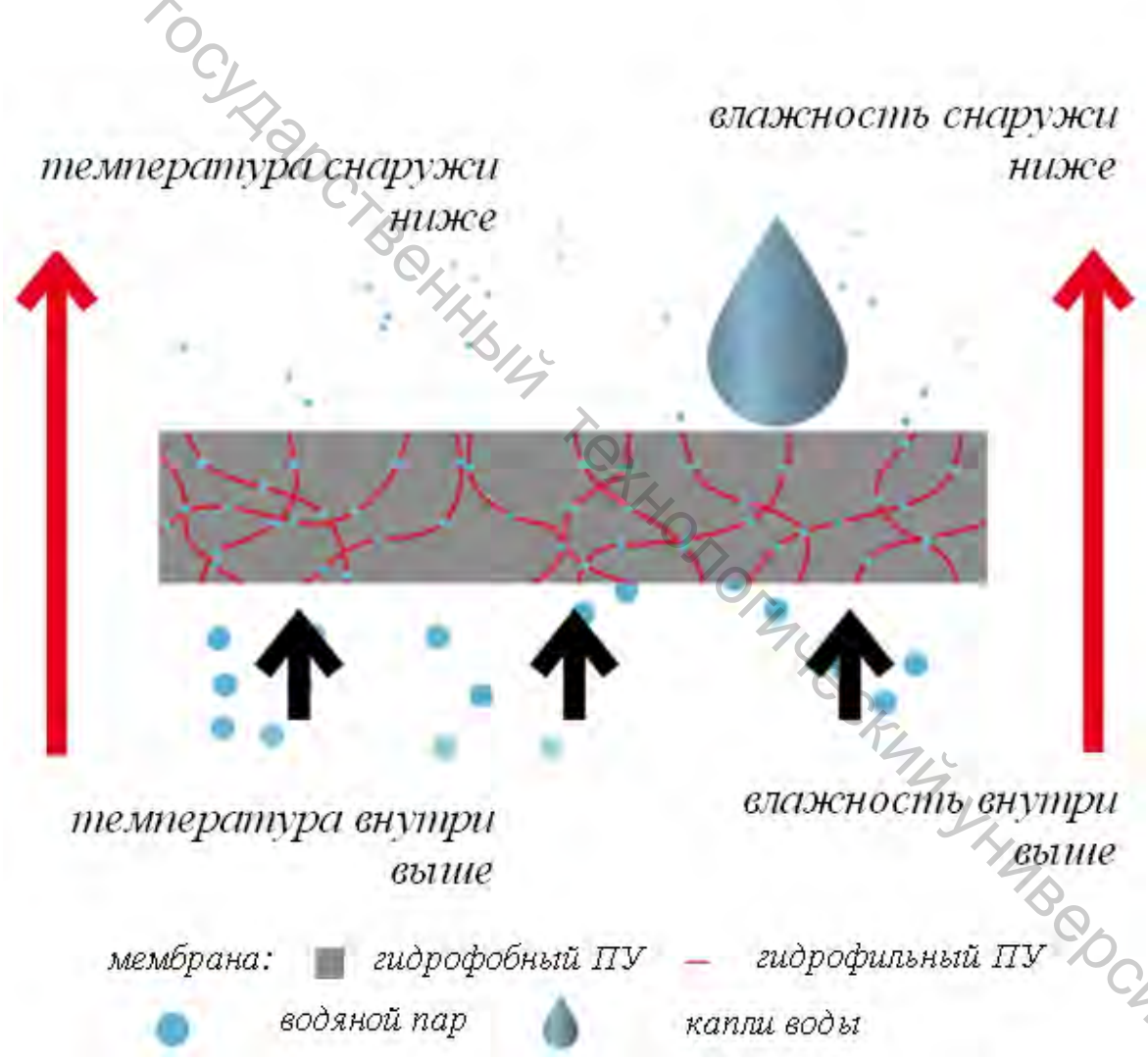


Рисунок 1.7 – Схема трансмембранного переноса для бикомпонентной комбинированной мембраны

Чтобы приблизиться к пониманию процессов, протекающих в мембранных текстильных материалах и влияющих на их гигиенические

Витебский государственный технологический университет

свойства, необходимо определить, структуры какого порядка образуются при получении мембранных материалов. Согласно классификации, разработанной Г. Е. Кричевским, элементы текстиля, соизмеримые с пряжей и волокнами, относят к макроструктуре, а элементы типа фибрилл и отдельных филаментов волокна – к мезоструктуре. Микро- и наноструктура материала характеризуется элементами, размер которых сопоставим с размерами атомов и элементарных звеньев волокнообразующего полимера, она определяет фундаментальные свойства текстильных материалов [25]. Микроструктура пористых мембран образуется в процессе их формирования по одному из способов:

1 – инверсия фаз (формование из раствора или расплава полимера);

2 – выщелачивание (вымывание) наполнителя;

3 – травление ядерных треков;

4 – вытяжка в активных средах;

5 – спекание порошков;

6 – нанесение покрытий [22].

Подробно эти способы получения мембран описаны в источниках [26, 27, 28, 29]

Мембраны, используемые при производстве текстильных материалов, характеризуются более грубой структурой, размер пор в них сопоставим с диаметром отдельных филаментов и составляет от единиц до нескольких десятков микрометров. Исключение составляют мембранные текстильные материалы фирмы «Гор-текс», полученные методом вытяжки экструдированной пленки из аморфно-кристаллического полимерного материала. В процессе получения мембраны полимер вытягивается по направлению, перпендикулярному направлению экструзии (Келгард-процесс) [30]. Преимуществом этого метода создания пористой структуры является возможность создания матриц с различной объемной пористостью (от 30 до 67 %), морфологией и размером пор (от 2 до 15 нм) [26].

Макроструктура мембранных текстильных материалов характеризуется количеством слоев, их видом, взаимным расположением и толщиной. Макроструктурными характеристиками, влияющими на гигиенические свойства мембранных материалов, являются также переплетение, фаза строения, поверхностная плотность, плотность расположения нитей, петельных рядов и столбиков текстильного слоя; толщина и пористость мембраны; степень погружения текстильных слоев в мембранный слой, обусловленная способом их соединения. Этот иерархический структурный уровень мембранных материалов наиболее подвержен эксплуатационным воздействиям и быстрее изменяется под действием различных факторов [31].

Витебский государственный технологический университет

На рынке текстильных материалов наиболее широко представлены композиты, содержащие полиуретановую (ПУ) мембрану, соединенную различными способами с одним или двумя слоями ткани или трикотажного полотна. Их вырабатывают двухслойными (рис. 1.8 а), 2,5-слойными (рис. 1.8 б) или трехслойными (рис. 1.8 в). В англоязычной литературе эти типы структур принято обозначать соответственно 2L, 2,5L и 3L (от англ. layer – слой) [12].

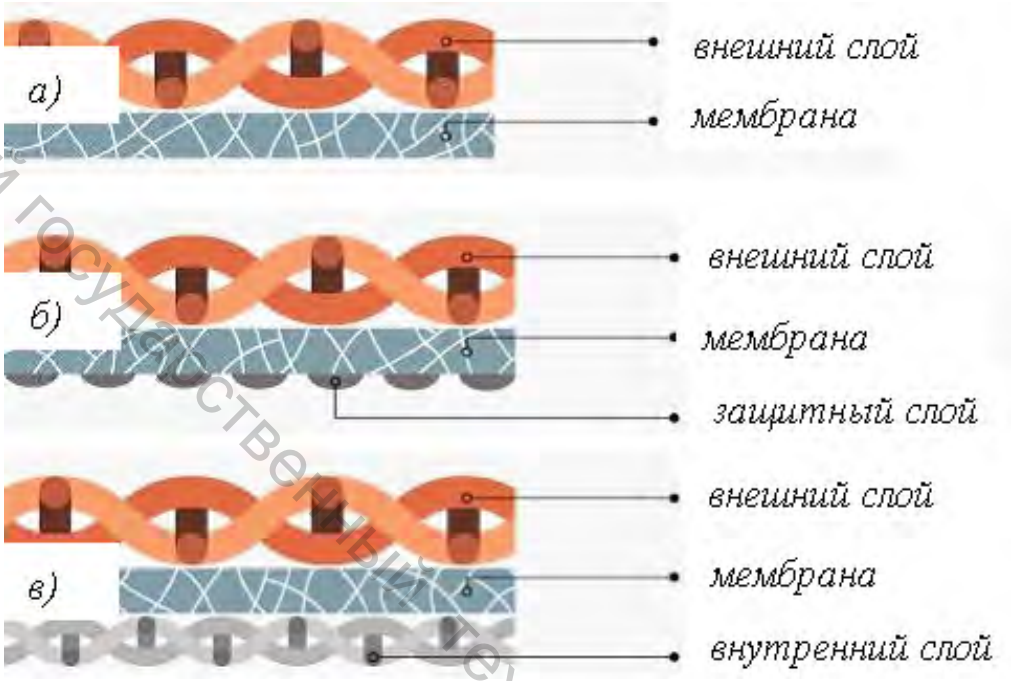


Рисунок 1.8 – Основные типы макроструктуры мембранных текстильных материалов:
а) структура 2L; б) структура 2,5L; в) структура 3L

Для получения мембранных текстильных материалов, содержащих **полиуретановую** мембрану, используют следующие ***способы:***

1. Нанесение с помощью ракли вспененного полиуретана на текстильную основу с последующей сушкой и охлаждением (соответствует обозначению membrane coating в англоязычной литературе). Происходит образование композиционного материала, текстильный слой которого в значительной степени погружен в полимерный мембранный слой.

2. Соединение текстильной основы и готовой гидрофильной мембраны посредством вспененного гидрофобного полиуретана, использующегося в качестве связующего состава. Происходит образование композиционного материала, текстильный слой которого в значительной степени погружен в полимерный связующий слой.

Витебский государственный технологический университет

3. Соединение посредством клея, температуры и давления текстильной основы и би-компонентной слоистой мембраны (соответствует обозначению membrane laminated в англоязычной литературе). Образуется материал, текстильный слой которого в малой степени погружен в мембранный слой.

4. Нанесение вспененного полиуретана на основу с последующей сушкой и соединение с подкладкой до охлаждения полиуретана (3L). Образуется материал, текстильные слои которого в значительной степени погружены в мембранный слой с двух его сторон.

5. Соединение трех слоев: основы, готовой мембраны и подкладки посредством клея, температуры и давления (3L) с образованием композиционного материала, текстильные слои которого в малой степени погружены в мембранный слой.

Типичными клеями для способов 3 и 5 являются натуральный и синтетический каучук, стирол-бутадиеновые смолы (SBR), поливиниловый спирт и акрил, наносимые точечно на текстильную основу.

Согласно общепринятой классификации ИЮПАК, пористые тела классифицируют по преимущественному размеру пор на микропористые (поры до 2 нм), мезопористые (от 2 до 50 нм) и макропористые (свыше 50 нм) [32]. У всех исследуемых в данной работе мембранных текстильных материалов пористый мембранный слой выполнен из макропористых полимеров.

По однородности размеров пор пористые тела делят на однородно- и разнороднопористые [32]. В настоящей работе представлены исследования текстильных материалов, содержащих разнороднопористые мембранные полимерные слои. По морфологии различают корпускулярные структуры, образующиеся путем сращивания отдельных частиц (зерен) разной формы и размера, и губчатые структуры, образованные не зернами, а сплошной сеткой твердой фазы, в которой поры представляют собой систему пустот и каналов [32]. В работе представлены исследования текстильных материалов с мембранами как губчатых, так и корпускулярных структур.

Современные полимерные материалы, применяющиеся для производства композиционных текстильных слоистых материалов, являются многокомпонентными сложными системами. Для многокомпонентных систем важнейшей характеристикой, определяющей процессы массопереноса через систему, называют её фазовую однородность. По признаку фазовой однородности материалы бывают гомогенными и гетерогенными [9]. Композиционные текстильные материалы, исследованные в данной работе, содержат гетерогенные мембраны.

Витебский государственный технологический университет

1.3 Технологии получения композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембрану

Физико-химические процессы, положенные в основу получения микроструктуры полимерных мембран, не рассматриваются в данном разделе, они достаточно полно представлены в источниках литературы [22, 26, 27, 28, 29, 30]. Один из широко применяемых методов получения полимерных мембран – формование из раствора, так называемый фазоинверсионный, протекающий с переходом полимера из жидкого состояния в твердое. Фазовая инверсия достигается за счет испарения растворителя из раствора полимера, нанесенного на твердую основу (сухое формование), или замены растворителя на нерастворитель при погружении раствора полимера, нанесенного на твердую основу, в жидкую фазу нерастворителя (мокрое формование). Методом мокрого формования из растворов полимеров получают поровые мембраны, непоровые мембраны получают методом сухого формования – наливом раствора полимера на твердую основу с последующим удалением растворителя в процессе сушки [23]. Необходимо понимать, что свойства мембран во многом зависят и от технологии их получения.

Однако для оценки гигиенических свойств мембранных текстильных материалов не менее важно представлять макроструктуру композита и промышленные способы её формирования, поскольку это знание позволяет систематизировать и анализировать данные о свойствах мембранных текстильных материалов, используемых для изготовления изделий легкой промышленности.

Существует несколько различных технологий нанесения мембранных полимерных слоев на текстильную основу. Наиболее часто используемые базовые принципы:

− наносной – нанесение взбитого в пену полимера с последующими операциями фиксации мембранного слоя, который формируется на текстильной основе;

− переносной – нанесение на основу готовой полимерной пленки различными способами, мембранный слой сформирован заранее.

Согласно терминологии, встречающейся в зарубежной литературе, наносной способ соответствует понятию membrane coating, а переносной – понятию laminated [12, 13, 21]. В отдельную группу выделяют комбинированную технологию, сочетающую наносной и переносной способы [13].

Для достижения максимального отделочного результата текстильный слой, предназначенный для соединения с полимерным слоем, должен быть очищен от посторонних веществ, таких как:

– парафин и жировые остатки,

Витебский государственный технологический университет

– остатки шлихтовальных растворов,
– поверхностно-активные вещества,
– остатки эмульгаторов,
– остатки восстановительных веществ.

После очистки материалы должны пройти предварительную пропитку фторуглеродом для обеспечения водоотталкивающих свойств лицевой поверхности и предотвращения избыточного проникания полимера в толщу материала-основы, что позволяет сохранить её мягкий гриф.

При ***наносном способе*** нанесения полимерного слоя на текстильную основу используется следующая последовательность операций:

1. Пропитка фторуглеродом; сушка.
2. Покрытие; сушка; охлаждение; прессование.
3. Каландрирование.
4. Фиксация.

Нанесение полимерного слоя производится с помощью различных механизмов, которые могут взаимодействовать по следующим схемам:

– ракля воздействует на материал, натянутый между двумя роликами;

– ракля выполнена в виде щели в емкости со вспененным полимером, установленной над текстильной основой;

– вспененный полимер наносится через отверстия в сетчатом валике, текстильная основа проходит между роликом и сетчатым валиком, заполненным полимером.

При использовании ***переносного способа*** нанесения мембранного полимерного слоя используется иная последовательность операций:

1. Пропитка фторуглеродом; сушка.
2. Покрытие; сушка.
3. Ламинирование; прессование.
4. Фиксация.

Технологический процесс при переносном способе нанесения мембраны отличается тем, что полимер, наносимый раклей, является связующим звеном между основой и мембраной, а мембрана соединяется с основой сразу после сушки вспененного полимера, когда материалы ещё не остыли. В дальнейшем процесс ламинирования приводит к уменьшению толщины связующего слоя, но его пористость сохраняется [13, 33–37]. Характеристика режимов технологических операций по получению мембранных текстильных материалов представлена в таблице 1.1 [36]. Другая возможная технология ламинирования подразумевает точечное нанесение связующего на поверхность текстильной основы [12].

Витебский государственный технологический университет

Сложность задачи химии получения полимерных мембранных слоев заключается в достижении более высокой паропроницаемости без снижения водозащитных свойств материала. Анализ литературных источников [12, 13, 21, 34, 35] в области технологии получения мембранных текстильных материалов для изделий легкой промышленности позволяет сделать вывод, что чаще всего при их производстве используют полиуретаны, позволяющие получать целостные долговечные покрытия при сравнительно невысокой стоимости процесса.

Недостаток пористых полиуретановых мембранных слоев заключается в том, что для получения однородной пористой структуры требуется постоянный контроль параметров технологического процесса в течение всего времени нанесения покрытия. При этом поверхностные поры должны иметь размеры менее критического (единицы микрометров), иначе невозможно получить точный баланс свойств паропроницаемости и водонепроницаемости [12].

Таблица 1.1 – Характеристика режимов операций получения мембранных текстильных материалов

Операция	Контролируемый параметр	Значение параметра при способе	
		наносном	переносном
Пропитка	расход фторуглерода	30-50 мл/л	
Сушка	температура	80-100 ^{0}C	
	продолжительность	1-2 мин	
Покрытие	вес пены	200 г/л	
	толщина слоя	0,3-0,6 мм	
	количество сухого вещества	25-40 г/м^2	30-60 г/м^2
Сушка	температура	110 ^{o}C	100 ^{o}C
	продолжительность	1-2 мин	2 мин
Охлаждение	температура	22-26 ^{0}C	-
Ламинирование	давление	-	4-8 бар
Прессование	давление	4-8 бар	
Каландрирова-ние	давление	8 бар	-
Фиксация	температура	150-170 ^{0}C	145 ^{0}C
	продолжительность	1-2 мин	

В последнее время быстро развиваются технологии модификации структуры мембран наноразмерными частицами, что позволяет повысить устойчивость композиционного материала к атмосферным, многоцикловым механическим и температурным воздействиям,

Витебский государственный технологический университет

увеличить прочность. В качестве модификаторов используют органоглины, оксиды алюминия, титана, кремния и цинка, слоистые силикаты, микроволокна [38, 39, 40, 41]. На рисунке 1.9 представлены СЭМ-изображения поверхности мембранного слоя текстильных материалов, модифицированных наночастицами.

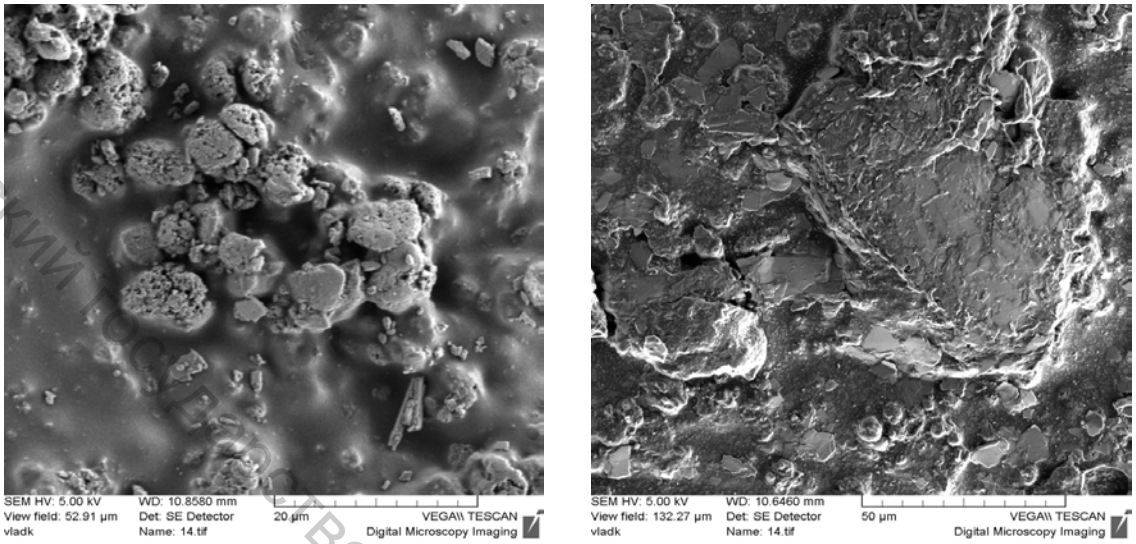


Рисунок 1.9 – СЭМ-изображения поверхности мембран, модифицированных наночастицами (×3500, ×1400)

На рисунке 1.10 показаны некоторые характерные виды структур мембранных текстильных материалов. В верхнем ряду рисунка показана поверхность мембранного слоя, в нижнем ряду – поперечный срез мембранного текстильного материала [42]. Изображены следующие материалы:

− a.1 и a.2 – двухслойный материал с монолитным гидрофильным мембранным слоем, полученный наносным способом;

− в.1 и в.2 – двухслойный материал с микропористым полиуретановым гидрофобным мембранным слоем, полученный наносным способом;

− c.1 и c.2 – 2,5-слойный материал с микропористым полиуретановым гидрофобным мембранным слоем и дополнительным очень тонким гидрофильным слоем для уплотнения пор, полученный комбинированным способом;

− d.1 и d.2 – 2-слойный материал с бикомпонентной гидрофобной микропористой полиуретаново-акриловой мембраной, полученный комбинированным способом;

− e.1 и e.2 – 2-слойный материал с политетрафторэтиленовой микропористой гидрофобной мембраной, полученный переносным способом [42].

Витебский государственный технологический университет

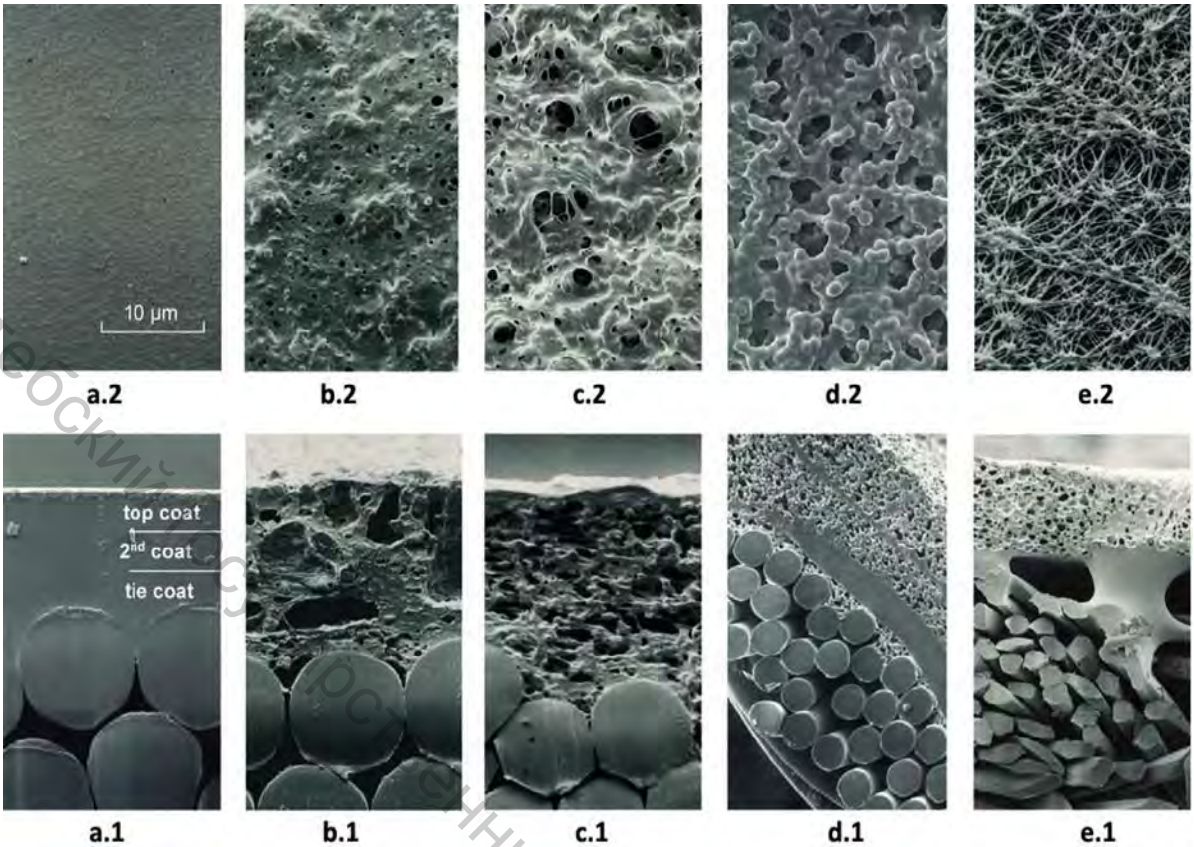


Рисунок 1.10 – СЭМ-изображения структуры мембранных текстильных материалов различных способов производства [42]

В любом случае, хотя способы соединения мембранного слоя с текстильными слоями композиционных материалов разнообразны, они выбираются в первую очередь соответственно полимеру мембраны. Выбор технологии соединения обусловлен следующими факторами:

– природа текстильной основы;
– форма и вид полимера, его вязкость;
– необходимая точность нанесения;
– экономика процесса [43].

В научной литературе встречаются сообщения о положительном влиянии плазмы на свойства мембранных материалов. Так, в источнике [44] сообщается о том, что обработка плазмой ламинированных мембранных текстильных материалов повышает прочность и устойчивость к стирке. В работах ученых Казанского национального исследовательского технологического университета И.Ш. Абдуллина, Р.Г. Ибрагимова и других процессы получения мембран с использованием плазменных технологий рассмотрены более подробно.

Таким образом, мембранные текстильные материалы – перспективный, быстро развивающийся ассортимент высокотехнологичных продуктов мировой текстильной

Витебский государственный технологический университет

промышленности. По данным источника [44], объем производства КСТМ в ближайшие годы сохранит тенденцию роста, причем доля КСТМ, получаемых переносным способом (ламинатов), более значительна на сегодняшний день и останется таковой в будущем. Оценка объемов европейского рынка мембранных текстильных материалов представлена на рисунке 1.11.

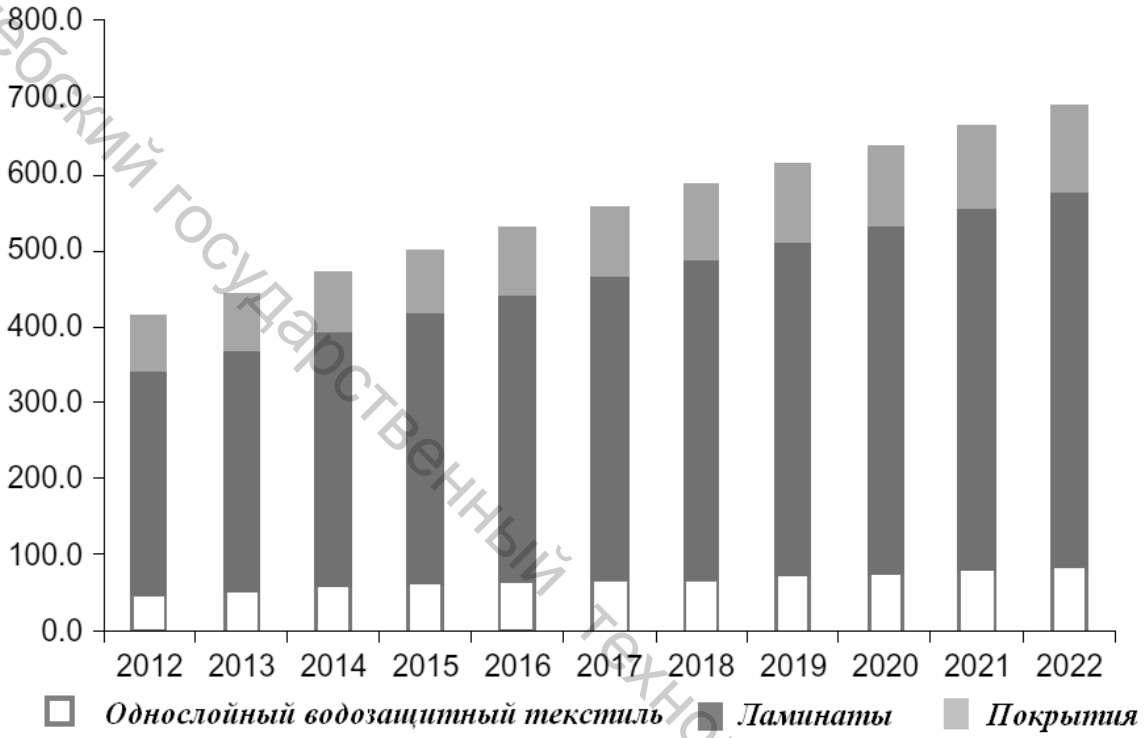


Рисунок 1.11 – Оценка объема европейского рынка мембранных текстильных материалов, 2012–2022 гг. (млн долл. США) [45]

На фоне постоянного увеличения производства мембранных материалов невнимание отечественной промышленности к такому перспективному ассортименту выглядит досадной недальновидностью: до сих пор не сформирована нормативная, методическая, приборная база оценки качества КСТМ, низок уровень научной проработки проблемы, нет четкой классификации мембранных текстильных материалов.

Авторы монографии стремятся восполнить существующий пробел, опираясь на многолетний опыт исследования свойств КСТМ и принципы классического материаловедения.

Витебский государственный технологический университет

1.4 Классификация мембранных текстильных материалов

Классификация мембранных текстильных материалов в зависимости от структуры и способа получения, разработанная авторами монографии на основе анализа литературных источников [12, 13, 14, 42], представлена на рисунке 1.12.

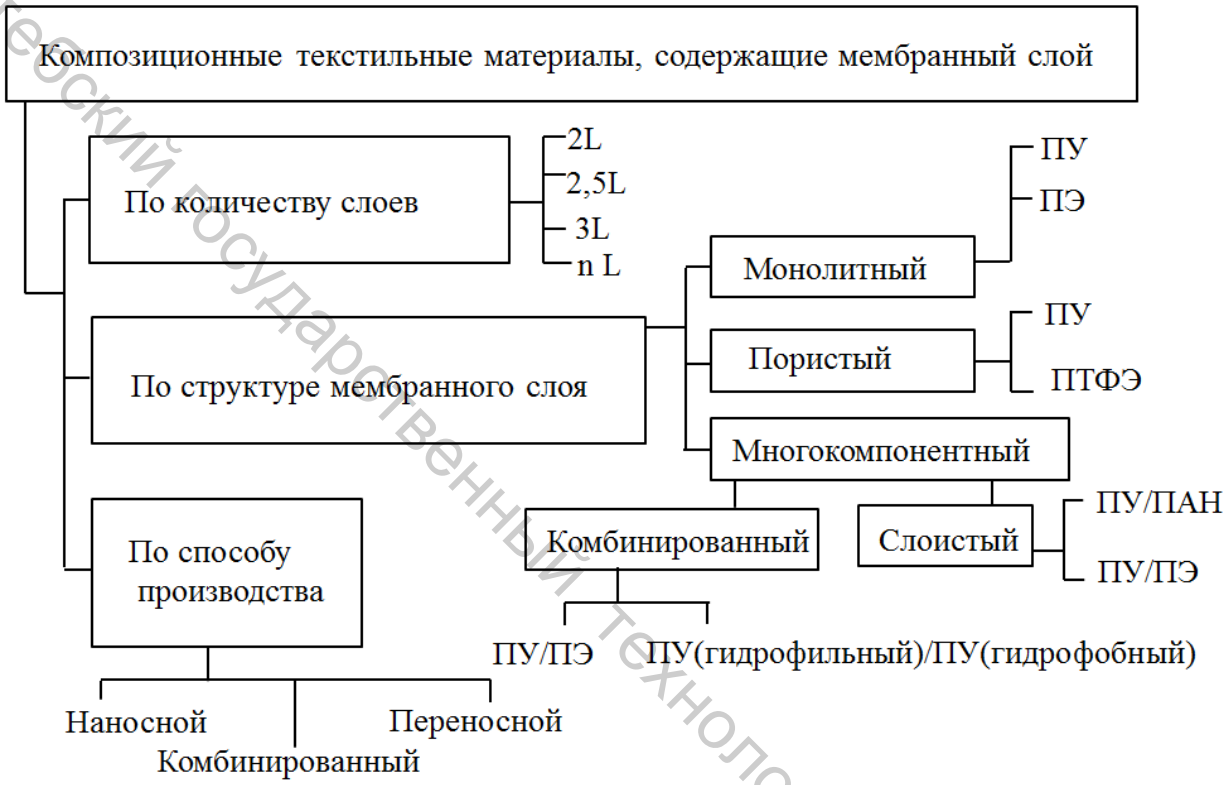


Рисунок 1.12 – Классификация КСТМ, используемых в производстве изделий легкой промышленности

Классификация, представленная на рисунке 1.12, дает общую характеристику разновидностей КСТМ, используемых в легкой промышленности. Она дает представление о наиболее часто используемых полимерах, формирующих мембранный слой КСТМ, о макроструктуре КСТМ и способах ее формирования.

При производстве мембранных текстильных материалов, используемых для изготовления изделий легкой промышленности, образуются композиты с характерными структурными признаками, которые авторы монографии, опираясь на свой опыт в исследовании КСТМ, считают важными для понимания процессов изменения первоначальных свойств, происходящих с материалами во время эксплуатации. Поэтому общую классификацию необходимо расширить

Витебский государственный технологический университет

описанием структурных типов КСТМ. Характеристика структурных типов КСТМ разработана авторами монографии и представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристика структурных типов КСТМ

Тип	Характеристика способа получения и структуры КСТМ
1	Нанесение вспененного полимера на основу с последующей сушкой и охлаждением. Происходит образование КСТМ, текстильный слой которого в значительной степени погружен в мембранный (губчатый либо корпускулярный пористый) слой
2	Соединение основы и готовой мембраны посредством вспененного полимера, использующегося в качестве связующего состава. Происходит образование КСТМ, текстильный слой которого в значительной степени погружен в мембранный (корпускулярный или губчатый) слой
3	Соединение посредством температуры и давления текстильной основы и двухкомпонентной (тонкой монолитной гидрофильной и губчатой пористой гидрофобной) слоистой мембраны. Образуется КСТМ, текстильный слой которого в малой степени погружен в мембранный слой
4	Нанесение вспененного полимера на основу с последующей сушкой и соединение с подкладкой до охлаждения полимера. Образуется КСТМ, текстильные слои которого в значительной степени погружены в мембранный (корпускулярный или губчатый гидрофобный пористый) слой с двух его сторон
5	Соединение двух (или трех) слоев: основы, готовой мембраны (и подкладки) посредством температуры и давления либо точечного приклеивания с образованием КСТМ, текстильные слои которого в малой степени погружены в мембранный слой

В последующих главах монографии авторы будут придерживаться этой классификации КСТМ по структурным типам, поскольку она позволяет проследить связь между структурой материала и его свойствами.

Витебский государственный технологический университет

Литература

1. Шустов, Ю. С. Текстильное материаловедение / Ю. С. Шустов, С. М. Кирюхин. – М. : Колосс, 2011. – 360 с.

2. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия) : учеб. для ВУЗов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд. – М. : Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.

3. Перепелкин, К. Е. Современное материаловедение и рыночная экономика / К. Е. Перепелкин // ЛегПромБизнес. Текстиль. – 2002. – № 2. – С. 33.

4. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для ВУЗов / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

5. Бесшапошникова, В. И. Текстильные материалы в производстве одежды : учеб. пособие / В. И. Бесшапошникова. – Саратов : СГТУ, 2010. – 208 с.

6. Стельмашенко, В. И. Материалы для одежды и конфекционирование : учеб. для ВУЗов / В. И. Стельмашенко, Т. В. Розаренова. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.

7. Орленко, Л. В. Конфекционирование материалов для одежды : учебное пособие / Л. В. Орленко, Н. И. Гаврилова. – М.: МГУС, 2005. – 288 с.

8. Куличенко, А. В. Некоторые особенности и общая классификация волокон и волокнистых текстильных материалов / Технический текстиль № 15, 2007. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://rustm.net/catalog/article/1033.html. – Дата доступа : 08.12.2018.

9. Садовский, В. В. Производственные технологии: учебник / В. В. Садовский [и др.]. – Минск: БГЭУ, 2008. – 431 с.

10. Краткий политехнический словарь. – Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 1324 с.

11. Струк, В. А. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях / В. А. Струк [и др.]. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 536 с.

12. Williams, J. T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. T. Williams. – Elsevier : Wood head Pablishing Ltd, 2018. – 590 p.

13. Holmes, D. A. Waterproof breathable fabrics / D. A. Holmes. – England ; Cambrige : The Textile Institute, 2000. – 576 p.

14. William, C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates / C. Smith. William. – Elsevier : Wood head Pablishing Ltd, 2010. – 320 p.

Витебский государственный технологический университет

15. Gore, R.W. Very Highly Stretched Polytetrafluoroethylene and Process Therefor. W. L. Gore & Associates, Newark, USP 3,962,153, June 8, 1976.

16. Калмыкова, Е. А. Материаловедение швейного производства: учеб. пособие / Е. А. Калмыкова, О. В. Лобацкая. – Минск : Вышэйшая школа, 2001. – 412 с.

17. Yalcinkaya, M. A look in the polyamide, polyester and polypropylene markets / M. Yalcinkaya // Chem. Fibers Int. – 2014. – № 2. – P. 57–62.

18. Рейтлингер, С. А. Проницаемость полимерных материалов / С. А. Рейтлингер. – М. : Химия, 1974. – 272 с.

19. Способ обработки минерального наполнителя полидиалкилсилоксаном и жирной кислотой и полученные таким образом гидрофобные наполнители и их применение в полимерах для «дышащих» пленок : пат. RU 2293094 / Х.У. Хопплер, Э. Охснер, Д. Фрей ; патентообладатель А. Г. Омиа ; дата публ.: 10.02.2007.

20. Способ получения ультрафильтрационной термостойкой полимерной мембраны : пат. RU 2373991 / Г. А. Полоцкая, Т. К. Мелешко, А. В. Новоселова, А. Е. Полоцкий, А. В. Якиманский ; дата публ.: 27.11.2009.

21. J. Fan and L. Hunter Engineering apparel fabrics and garments / Woodhead Publishing Limited, 2009. – 391 с.

22. Абдуллин, И. Ш. Современные методы изготовления композиционных мембран / И. Ш. Абдуллин, Р. Г. Ибрагимов, О. В. Зайцева, В. В. Парошин // Вестник казанского тех. ун-та, 2013. – С. 24–34.

23. Барнягина, О. В. Селективно-проницаемые мембраны с высоким уровнем паропроницаемости и защитных свойств / О. В. Барнягина, Р. Э. Мухаматдинова, Э. Н. Пухачева, В. Ю. Матвеева // Вестник технологического университета, 2017. – Т. 20. – № 21. – С. 28–31.

24. Аналитический портал химической промышленности «Новые химические технологии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=1699. – Дата доступа : 08.12.2018.

25. Кричевский, Г. Е. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды / Г. Е. Кричевский. – М. : Известия, 2011. – 526 с.

26. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию; пер. с англ. – Москва: Мир, 1999. – 513 с.

27. Ke Lin-nan, Wu Guang-xia, Xu Shu-guang. Влияние полиэтиленгликолевых добавок на структуру и характеристики смешанных ультрафильтрационных мембран / Lin-nan Ke, Guang-xia Wu, Shu-guang Xu // Environ. Sci, 2005. – 26. – № 1. – С. 108–111.

Витебский государственный технологический университет

28. Hellman Diana J., Greenberg Alan R., Krantz William B.. A novel process for membrane fabrication: thermally assisted evaporative phase separation (TAEPS) / Diana J. Hellman, Alan R. Greenberg, William B. Krantz. // Journal of Membrane Science. – 2004. – Volume 230, issue 1–2, p. 99–109.

29. Malaisamy Ramamoorthy, Mohan Doraiswamy Raju, Ra-jendran Munnuswamy. Polyurethane and sulfonated polysul-fone blend ultrafiltration membranes. I. Preparation and characterization studies / Malaisamy Ramamoorthy, Mohan Do-raiswamy Raju, Rajendran Munnuswamy. // J. Colloid and Interface Sci. – 2002. – 254. – № 1. – С. 129–140.

30. Кестинг, Р. Е. Синтетические полимерные мембраны / под ред. В. К. Ежова. – М.: Химия, 1991. – 336 с.

31. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / под ред. К. Г. Гущиной. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

32. Волков, В. А. Коллоидная химия / В. А. Волков. – М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001. – 640 с.

33. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугов, Г. М. Кострыкина. – М. : Химия, 1989. – 432 с.

34. Lomax, G. R. Hidrophilic polyurethane coatings / G. R. Lomax // Journal of coated fabrics. – 1990. – Vol. 20. – № 4. – P. 88–107.

35. Williams, J. T. Textiles for cold weather apparel / J. T. Williams. – Elsevier : Wood head Pablishing Ltd, 2009. – 432 p.

36. Tomasino, C. Chemistry and technology of fabric preparation and finishing / C. Tomasino. – Raleigh, North Carolina : North Carolina State University, 1992. – 261 p.

37. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи: учеб. для вузов : в 2-х ч. Ч. 2 : Технологические процессы производства полимерных пленочных материалов и искусственной кожи / Г. П. Андрианова, К. А. Полякова, А. С. Фильчиков, Ю. С. Матвеев ; под. общ. ред. Г. П. Андриановой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 384 с.

38. Кудашев, С. В. Влияние полифторированных модификаторов на структуру и свойства гетероцепных полимеров : дис…канд. хим. наук : 02.00.06 / С. В. Кудашев. – Волгоград, 2011. – 167 с.

39. Полубояров, В. А. Влияние модифицирования полимеров нанодисперсными керамическими частицами на свойства нанокомпозитов / В. А. Полубояров, З. А. Коротаева, Т. Б. Белкова, А. И. Гончаров, А. С. Трофимова // Материаловедение. – 2011. – № 10. – С. 42–46.

40. Тураев, Э. Р. Технология получения компаундов на основе полиолефинов, органических ПАВ, минеральных нано- и микро дисперсных наполнителей : дис…докт. хим. наук : 02.00.11, 02.00.14 / Э. Р. Тураев. – Ташкент, 2019. – 212 с.

Витебский государственный технологический университет

41. Охлопкова, А. А. Исследование влияния оксида алюминия на структуру и свойства ПТФЭ / А. А. Охлопкова, Т. С. Стручкова, А. П. Васильев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 2557–2562.

42. Lomax, G.R. Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, J.Mater. Chem., Issue 27. – 2007.

43. Sen, A.K. Coated Textiles: Principles and Applications, second ed. CRC Press, Taylor &Francis Group, Boca Raton, FL. – 2008.

44. Zhang, C. and Fang, K. Surface modification of polyester fabrics for inkjet printing with atmospheric-pressure air/Ar plasma. Surface & Coatings Technology, 203. – 2009. – P. 2058–2063.

45. Global Market Insights, 2016. Waterproof Breathable Textiles (WBT) Market Size By Textile (Membrane, Coated, Densely Woven), By Product (Footwear, Gloves, Garments), By Application (Active Sportswear), Industry Outlook Report, Regional Analysis, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2015–2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.gminsights.com/industry-analysis/waterproof-breathabletextiles-wbt-market-size. – Дата доступа : 30.10.2017.

Витебский государственный технологический университет

ГЛАВА 2
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Исследование структуры мембранных текстильных материалов методом оптической микроскопии

С целью получения данных о структуре КСТМ проводилась микроскопия поперечного среза материала в отраженном свете с помощью электронного стереоскопического микроскопа МС-1 (для получения изображений с увеличением до 100 крат) и инвертированного микроскопа МИ-1Т (для получения изображений с увеличением до 500 крат). Микроскопы оснащены видеоокуляром и программным обеспечением для просмотра и работы с изображением на компьютере. Определялось количество и структура слоев (пористая губчатая или пористая корпускулярная, монолитная), толщина каждого слоя, глубина погружения мембранного слоя в текстильный, фаза строения текстильного тканого слоя, наблюдаемый диаметр пор, среднее количество пор на единицу площади [1, 2]. Методика исследования структуры по микрофотографии поперечного среза материала разработана на основе изложенной в [3], с дополнениями, учитывающими структурные особенности материалов с мембраной и возможности компьютерной обработки изображений.

По микрофотографии поперечного среза материала определялись следующие параметры:

Общая толщина образца, измеряемая поперек каждой нити основы. Измерения выполняются по всем нитям основы, попавшим в поле зрения. Толщина образца принимается как среднее значение.

Толщина текстильной основы определяется аналогично, только измерение проводится от верхней кромки образца до мембраны.

Толщина мембраны определяется как среднее арифметическое длин не менее 10 поперечных линий, проведенных от нижней кромки мембраны до текстильной основы с одинаковым шагом. В трехслойных образцах для измерений проводится линия опорной плоскости. Линия соединяет наиболее выступающие точки нитей трикотажной или тканой подкладки. От этой линии измеряются общая толщина образца и толщина подкладки, как показано на рисунке 2.1. Измерения проводятся поперек каждой нити основы. Определяется среднее значение.

Витебский государственный технологический университет

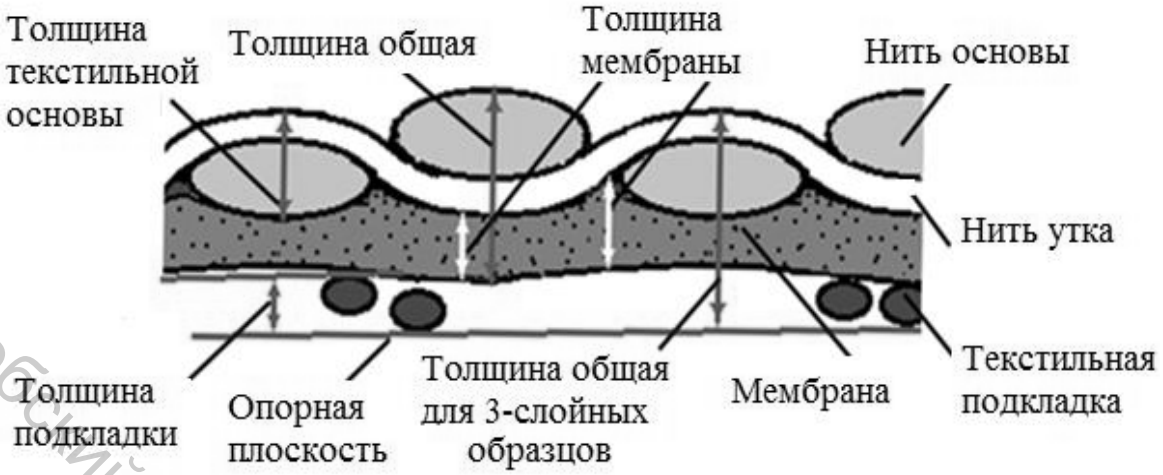


Рисунок 2.1 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

Для определения ***глубины проникновения мембраны*** в текстильную основу измерение проводится по изображению текстильной основы: прямой линией соединяются попарно наиболее выступающие (наиболее погруженные в толщу текстильной основы) соседние точки мембраны, как показано на рисунке 2.2.

Глубина проникновения определяется как расстояние от проведенной линии до края нитей основы и утка, соприкасающегося с мембранным слоем. Принимается среднее значение всех выполненных в поле видимости измерений.

Рисунок 2.2 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

Для определения ***фазы строения*** текстильной основы определяется высота волны изгиба основных h_O и уточных $h_У$ нитей.

Витебский государственный технологический университет

Для системы нитей основы проводится прямая, соединяющая самые высокие точки соседних нитей основы, лежащих над нитью утка.

Высота волны изгиба нитей основы определяется как расстояние от проведенной линии до вершины нити основы, лежащей под нитью утка. Принимается среднее значение из полученных для всех нитей основы, попавших в поле зрения. Аналогично выполняется построение и замер высоты волны изгиба нити утка: от линии, соединяющей соседние волны, до вершины уточной нити, расположенной под нитью основы. Порядок фазы строения (ПФС) определяется из отношения высоты волны нити основы к высоте волны нити утка ($K_h = h_O / h_У$) по формуле (2.1), предложенной проф. Н. Г. Новиковым [4]

$$ПФС = \frac{1 + 9 \cdot K_h}{1 + K_h}. \qquad (2.1)$$

В результате проведенных исследований выявлено, что все исследуемые образцы структурных типов 1, 4 и 5 (с гидрофобным мембранным слоем) являются макропористыми с наблюдаемым диаметром пор от 3 мкм до 70 мкм, общая их толщина колеблется от 200 мкм до 300 мкм.

Толщина изученных образцов структурных типов 2 и 3 (содержащих двухкомпонентную слоистую мембрану) колеблется в пределах от 170 мкм до 390 мкм, толщина гидрофобного корпускулярного слоя в среднем больше, чем губчатого, как и глубина проникновения мембраны в текстильную основу. Толщина монолитной гидрофильной мембраны колеблется от 11 мкм до 26 мкм.

Размер пор и количество пор на единицу площади поверхности мембраны определялись по микрофотографии продольного среза мембранного слоя. Участок наиболее четкого изображения ограничивался квадратом со сторонами 10 мкм, подсчитывалось количество наблюдаемых пор, попавших в ограниченную область, измерялся диаметр пор, вычислялось среднее значение. Выполнялось по 5 замеров на каждом изображении, вычислялось среднее значение количества пор на единицу площади сечения. Измерения использовались для установления наиболее общей характеристики пористости мембраны.

Результаты исследования КСТМ с ***гидрофобным*** мембранным слоем представлены в таблице 2.1.

Анализ данных таблицы 2.1 позволяет сделать вывод о том, что все исследуемые КСТМ с гидрофобным мембранным слоем являются макропористыми, общая их толщина различна: большинство КСТМ имеют толщину от 200 до 300 мкм, а два образца (№ 16 и № 17),

Витебский государственный технологический университет

выработанные с трикотажной подкладкой из текстурированных нитей, значительно толще.

Таблица 2.1 – Результаты исследования структуры КСТМ с гидрофобным мембранным слоем

Номер образца / тип	Общая толщина, мкм	Структура гидрофобной мембраны		Структура текстильной основы / подкладки		Глубина проникновения мембраны в основу / подкладку, мкм
		Описание	Толщина, мкм	ПФС	Толщина, мкм	
1/1	259,8	Губчатая, макропоры (наблюдаемый диаметр пор от 24 до 70 мкм)	52,1	VI	200,4	47,3
2/1	250,4		64,5	VII	186,0	27,7
3/1	239,9		63,3	V	169,4	64,3
4/1	265,5		55,8	VI	214,8	50,5
5/1	226,0		50,6	VII	161,7	25,8
6/5	358,8	Губчатая, макропоры (наблюдаемый диаметр пор около 3 мкм) + точечное полимерное покрытие для приклеивания подкладки	14,9	V	173,9 / 171,6	1,8 / 0
7/5	344,9	Губчатая, макропоры (наблюдаемый диаметр пор около 3 мкм)	16,1	VI	162,0 / 144,8	3,8 / 5,0
14/4	186,8	Корпускулярная, макропоры	56,9	VI	107,3 / 95,6	59,1 / 43,9
15/5	268,4	Губчатая, макропоры (наблюдаемый диаметр пор около 2 мкм)	10,8	V	103,8 / 155	4,1 / 3,4
16/5	615,2		12,8	VI	152,3 / 455	2,0 / 3,6
17/5	512,0		18,4	VI	168,7 / 347,2	3,0 / 3,6
18/1	351,0	Губчатая, макропоры (наблюдаемый диаметр пор от 20 до 70 мкм)	74,4	V	269,0	19,3
19/1	238,8		60,6	V	168,3	62,1
20/1	220,3	Корпускулярная, макропоры	58,3	VI	178,6	34,5
21/1	275,2		63,1	V	221,0	42,2
23/4	201,8		66,4	VI	107,3 / 105,6	52,1 / 53,7

Витебский государственный технологический университет

Структура текстильного слоя исследовалась только по показателям порядка фазы строения и толщины. Толщина текстильной основы всех образцов колеблется в узких пределах – от 100 мкм до 270 мкм. Порядок фазы строения текстильной основы исследуемых КСТМ – от V до VII. Это говорит о практически равномерном распределении нитей основы и утка по опорной поверхности материалов и незначительном преобладании роли нитей основы в формировании слоистой структуры у материалов с фазой VI и VII – высота изгиба волн нитей основы больше, чем утка, поэтому и степень их связанности с нижележащим мембранным слоем больше.

Исследование структуры мембранного слоя показало, что все образцы являются макропористыми и принадлежат к двум видам – с губчатой или корпускулярной структурой. Губчатая структура характеризуется наличием сквозных пор и каналов, толщина стенок которых значительно меньше их диаметра и общей толщины мембранного слоя. Наблюдаемая на поперечном срезе форма пор – цилиндрическая или коническая с неровными складчатыми стенками. На продольном срезе мембранного слоя наблюдаются поры округлого и многоугольного сечения различных, но сопоставимых размеров от 2 до 50 мкм.

Корпускулярная структура визуализируется хуже из-за бликов света, возникающих на стенках гранул (корпускул) полимера. Гранулы по размеру равномерные, сопоставимые с размерами поперечного сечения элементарных синтетических нитей. Воздушные промежутки между гранулами незначительные, незаметные на фоне размеров самих гранул. При сравнении с изображением мембранного слоя губчатой структуры заметно, что объем пор в корпускулярном полимерном слое в целом меньше.

Для двухслойных образцов (тип 1) характерна значительная глубина проникновения мембраны в текстильную основу, сопоставимая с толщиной мембранного слоя. Трехслойные образцы (типы 4 и 5) четко разделяются по глубине проникновения мембраны в текстильные слои основы и подкладки на две группы. В одной группе мембрана проникает в текстильную основу незначительно, не более чем на 10 мкм, при этом структура мембранного слоя губчатая. В другой группе наблюдается значительное, около 50 мкм проникновение мембраны в прилегающие к ней слои, а структура полимера мембраны корпускулярная. Это связано с особенностями способа получения материалов обеих групп. В первом случае слои соединяются спеканием готовой мембранной пленки и текстильных слоев под действием температуры и давления, с использованием точечно нанесенного связующего, а во втором полимерный слой наносится на текстильную основу в жидкой вспененной фазе и до застывания успевает заполнить неровности поверхности основы и подкладки. Исключение составляет

Витебский государственный технологический университет

образец 6, у которого мембранный слой склеивается с текстильной основой, образуя соединение с незначительным проникновением мембраны, а затем склеивается с подкладкой посредством точечного нанесения полимерного связующего. В этом образце мембранный слой практически не проникает в текстильный.

На рисунке 2.3 представлена микрофотография двухслойного КСМ (№ 18 из таблицы 2.1), на рисунке 2.4 – трехслойного с губчатым мембранным слоем (№ 7 из таблицы 2.3), а на рисунке 2.5 – трехслойного КСМ с корпускулярным мембранным слоем (№ 14 из таблицы 2.3).

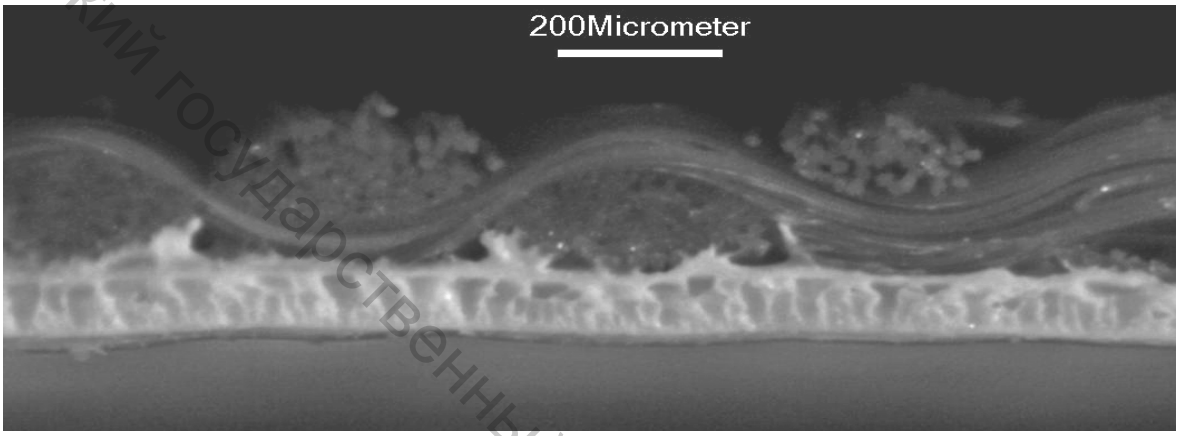


Рисунок 2.3 – Микроскопия среза двухслойного КСТМ с губчатой структурой гидрофобного мембранного слоя (×100)

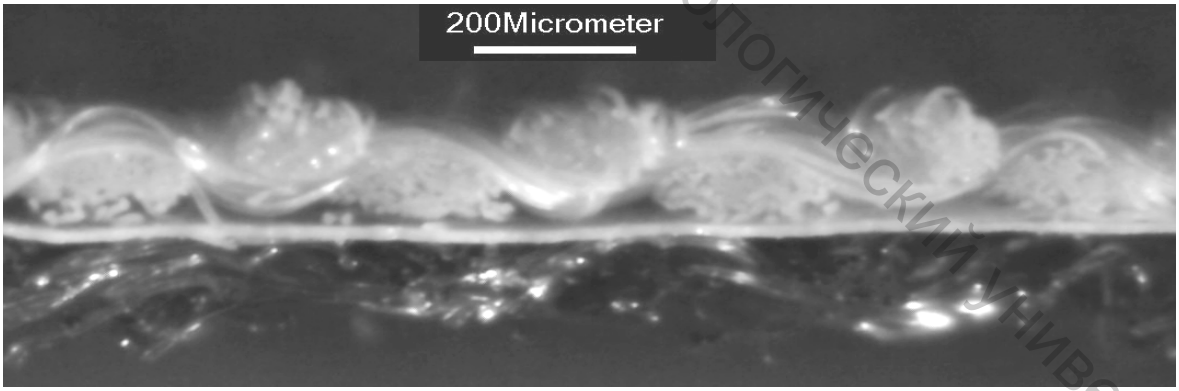


Рисунок 2.4 – Микроскопия среза трехслойного КСТМ с губчатой структурой гидрофобного мембранного слоя (×100)

Анализ результатов исследования КСТМ с двухкомпонентной слоистой ***гидрофильно-гидрофобной*** мембраной, представленных в таблице 2.2, показывает, что толщина изученных КСТМ с двухкомпонентной мембраной колеблется в пределах от 170 мкм до 390 мкм, толщина гидрофобного корпускулярного слоя в среднем больше,

Витебский государственный технологический университет

чем губчатого, как и глубина проникновения мембраны в текстильную основу. Толщина гидрофильной мембраны колеблется от 11 мкм до 26 мкм.

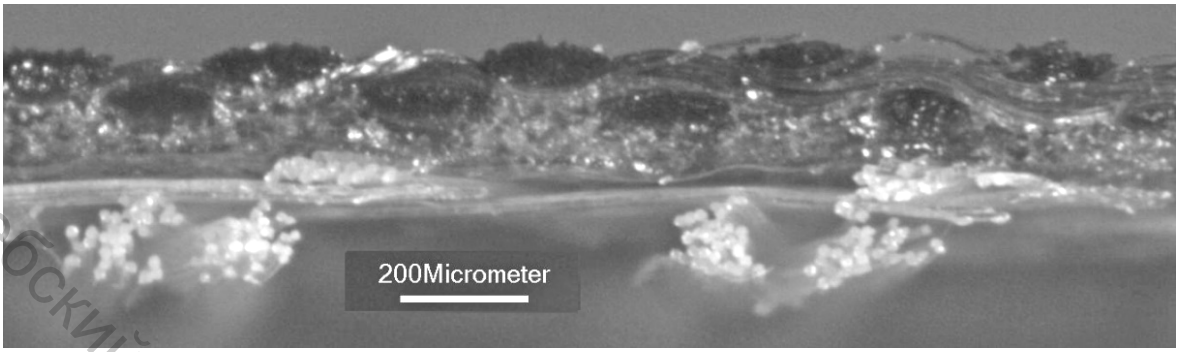


Рисунок 2.5 – Микроскопия среза трехслойного КСТМ с корпускулярной структурой гидрофобного мембранного слоя (×100)

Таблица 2.2 – Результаты исследования структуры КСТМ с гидрофобным и гидрофильным двухкомпонентным мембранным слоем

Номер образца / тип	Общая толщина, мкм	Структура мембранных слоев				Структура текстильной основы		Глубина проникновения мембраны в основу, мкм
		Гидрофобного		Гидрофильного				
		Описание	Толщина, мкм	Описание	Толщина, мкм	ПФС	Толщина, мкм	
8/2	283,5	корпуск.	69,9	монолитная	24,1	VI	168,4	34,7
9/2	375,7		72,3		22,1	V	199,3	29
10/3	218,5	губчатая макропоры (наблюдаемый диаметр пор от 10 до 40 мкм)	47,1		11,2	IV	128,1	23,1
11/3	262,9		38,3		7,9	VI	121,7	17,7
12/3	250,6		42,3		15,2	IV	117,4	25,3
13/3	258,1		40,7		13,7	V	125,1	23
22/2	308,8	корпускулярная	62,8		26	IV	295,4	84,2

Порядок фазы строения текстильной основы – от IV до VI – несколько меньше, чем у материалов с гидрофобной однокомпонентной мембраной, что объясняется более жесткими условиями процесса производства КСМ с двухкомпонентной мембраной, которые приводят

Витебский государственный технологический университет

к распрямлению нитей текстильной основы. Толщина текстильной основы колеблется от 117 мкм до 295 мкм.

Наблюдаемая структура пористого мембранного слоя такая же, как и у образцов с гидрофобным мембранным слоем. Гидрофильная мембрана значительно тоньше гидрофобной и не имеет пор.

На рисунке 2.6 представлена микрофотография поперечного среза КСТМ с двухкомпонентной мембраной с губчатым гидрофобным и монолитным гидрофильным слоями (образец № 12 из таблицы 2.1).

На рисунке 2.7 показана микроскопия поперечного среза КСТМ с монолитным гидрофильным мембранным слоем и корпускулярным гидрофобным слоем (№ 8 из таблицы 2.1).

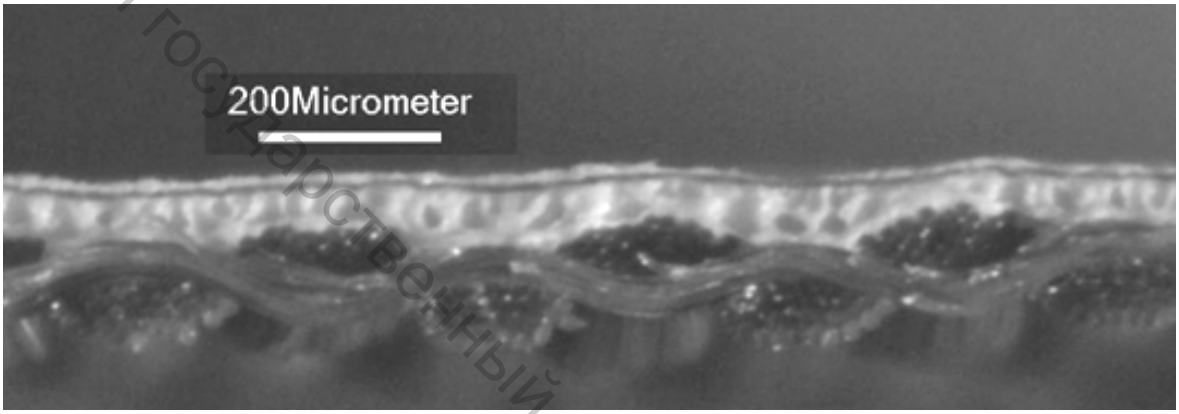


Рисунок 2.6 – Микроскопия поперечного среза КСТМ с губчатым гидрофобным и монолитным гидрофильным мембранными слоями (×100)

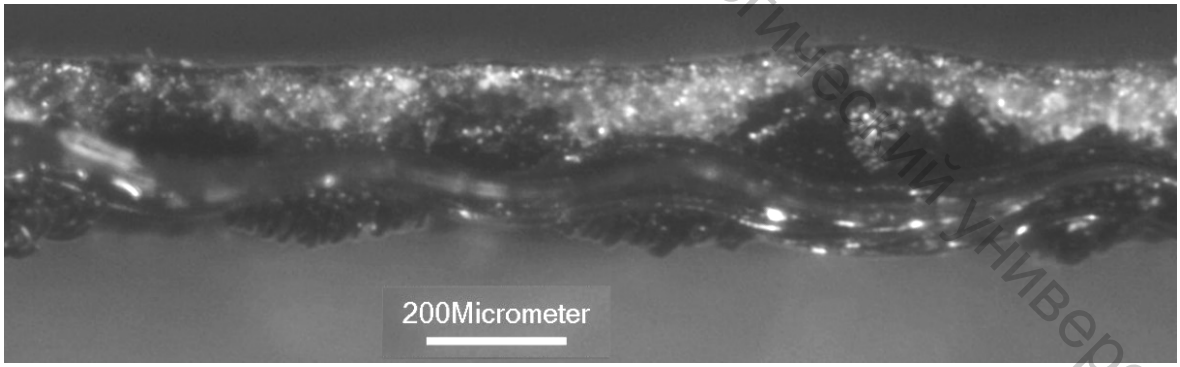


Рисунок 2.7 – Микроскопия поперечного среза КСТМ с корпускулярным гидрофобным и монолитным гидрофильным мембранными слоями (×100)

Результаты исследования структуры позволят установить закономерности влияния строения КСТМ на их свойства. Однако разрешающая способность электронного стереоскопического

Витебский государственный технологический университет

микроскопа не позволяет в полной мере оценить строение КСТМ, поскольку диаметры пор некоторых мембран варьируют в пределах 0,1–10 мкм, а элементы таких размеров недоступны для изучения методом оптической микроскопии.

2.2 Исследование структуры мембранных текстильных материалов методом сканирующей электронной микроскопии

Для более глубокого изучения структуры мембранных текстильных материалов применялся метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Этот метод предоставляет более широкие возможности для исследования, поскольку разрешающая способность электронных микроскопов составляет 0,01 мкм (10 нм), некоторые электронные микроскопы позволяют получить разрешение около 3 нм (0,003 мкм) [5]. Сущность метода сканирующей электронной микроскопии такова: узкий пучок электронов направляется на исследуемый образец. Эти электроны называются первичными и имеют высокую энергию – до 25 кV. От поверхности образца отражаются вторичные низкоэнергетические электроны, которые выбиваются первичными из электронных оболочек атомов образца. Узкий пучок первичных электронов перемещают построчно по образцу, ощупывая (сканируя) его поверхность. Вторичные электроны улавливают, усиливают, преобразуют в электрический сигнал и реконструируют в изображение на экране. Для получения лучшей контрастности поверхность образца подтеняют слоем металла (Cr, Pt, Au, Pd и др.) [5].

Исследования с помощью растрового электронного микроскопа VEGA II LSH проводились в лаборатории «Белорусского республиканского центра зондовой микроскопии» (БелЦЗМ). Технические характеристики микроскопа: разрешение – 3нм, увеличение – 4–1000000 раз. Максимальный размер кадра – 4096x4096. Поверхность образцов подтеняли слоем золота.

Исследовали поперечные срезы и поверхности образцов мембранных текстильных материалов, характеристика которых представлена в таблице 2.3. Материалы содержат полиэфируретановые мембранные слои и полиэфирные текстильные слои и используются швейными предприятиями Республики Беларусь для изготовления специальной одежды.

В процессе исследования изучали структуру образцов, наличие, размеры и форму пор, наличие модифицирующих элементов структуры поверхности, их форму и размеры, равномерность пористых

Витебский государственный технологический университет

мембранных слоев, толщину слоев композита, способ соединения слоев между собой.

Структура исследуемых образцов чрезвычайно разнообразна. Общим для них является наличие твердой фазы и системы пустот. Твердую фазу называют скелетом, или каркасом тела, а систему пустот – пространством пор. Объемную долю пустот называют пористостью, поверхность пустот – внутренней поверхностью, а ее величину, отнесенную к единице объема или массы тела, – удельной поверхностью. В пенополиуретане объемная доля пустот может превышать 0,9 [6, 7, 8]. Это хорошо видно на рисунках 2.8–2.13, где представлены СЭМ-изображения исследуемых образцов.

Таблица 2.3 – Характеристика образцов, исследованных методом СЭМ

Номер образца	Фирма-изготовитель, страна	Поверхностная плотность, г/м^2	Переплетение нитей текстильного слоя	Количество нитей текстильного слоя на 10 см		Количество слоев (тип)
				По основе	По утку	
10	Taslan, Корея	139	комбинир.	620	540	2,5 (тип 3)
11	Hipora, Корея	136	сложн.	580	400/120	2,5 (тип 3)
18	Ultrex, Корея	142	полотн.	340	220	2 (тип 1)
9	ОАО «Моготекс», РБ	185	полотняное	310	310	2,5 (тип 3)
21		171	полотняное	216	388	2 (тип 1)

Анализ СЭМ-изображения поверхности образца № 10, представленного на рисунке 2.8, показал, что поверхность образца модифицирована мелкими волокноподобными частицами цилиндрической формы, размеры которых не превышают 4 мкм в длину и 0,5 мкм в диаметре. Второй модифицирующий поверхность элемент – мелкие рыхлые неокатанные частицы неправильной формы с габаритными размерами от 0,3 мкм до 12 мкм, местами образующие агломераты, причем волокноподобные частицы и агломераты сосредоточены в приповерхностном слое мембраны.

Витебский государственный технологический университет

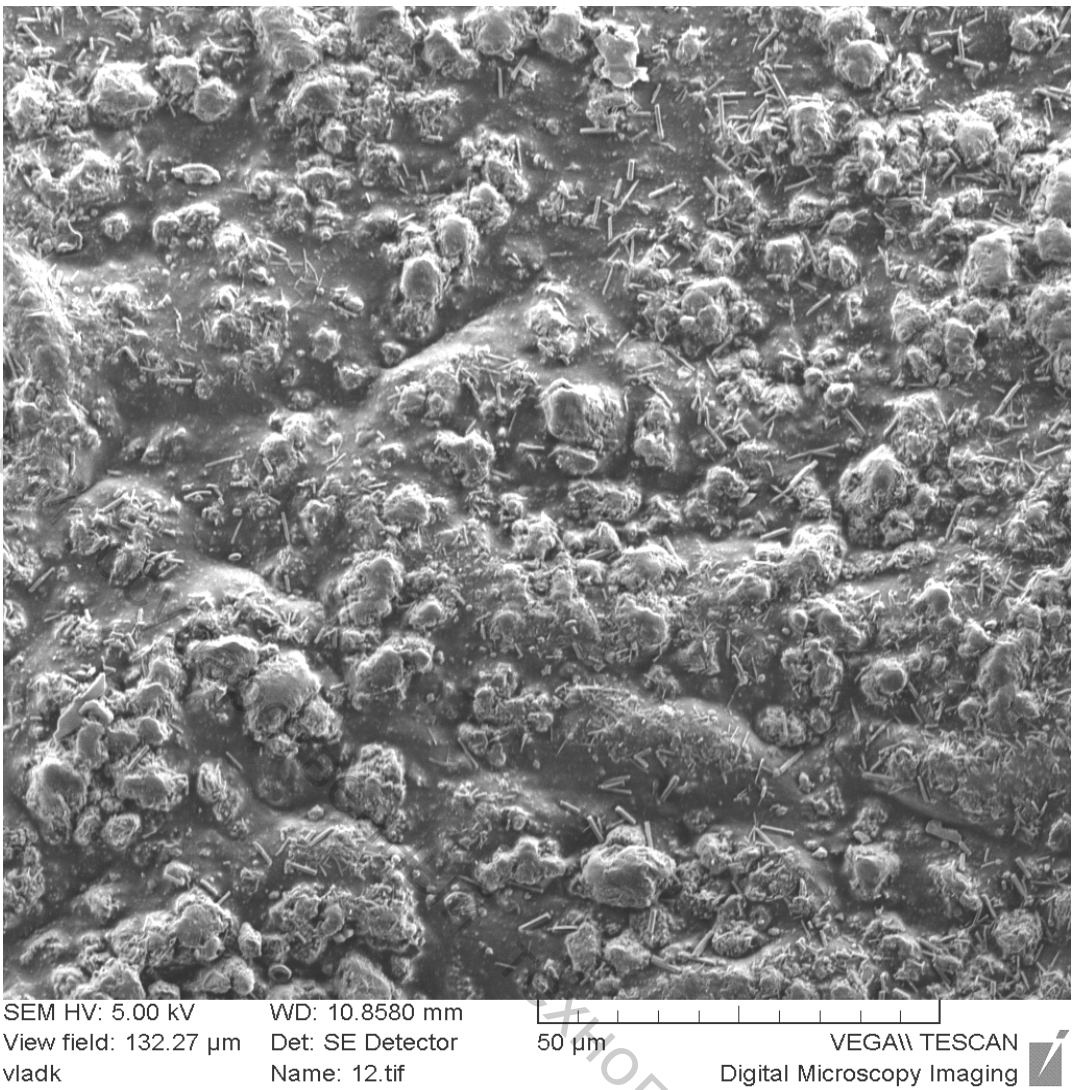


Рисунок 2.8 – СЭМ-изображение поверхности образца № 10 (×1800)

На изображении поперечного среза образца (рис. 2.9) отчетливо визуализируется граница двух слоев двухкомпонентной слоистой мембраны: внутреннего пористого, толщиной около 60 мкм, обращенного к текстильной тканой основе, и наружного непористого полимерного слоя толщиной около 25 мкм, поверхность которого модифицирована частицами.

Внутренний пористый слой анизотропен в направлении, перпендикулярном поверхности образца. Поры этого слоя, диаметром около 1 мкм у поверхности волокон текстильного тканого слоя, к границе раздела слоев мембраны сливаются в крупные полости неправильной формы размером 15–50 мкм, причем стенки этих полостей несплошные, толщиной от 2 мкм до 40 мкм с порами диаметром 1–7 мкм.

Мелкопористый мембранный слой проникает глубоко в межниточные пространства тканого текстильного слоя практически на

Витебский государственный технологический университет

половину его толщины и более, почти не затрагивая внутреннего пространства между филаментами нитей (около 50 филаментов в одной нити основы), обволакивая поверхность граничащего с мембраной пучка филаментов тонким слоем.

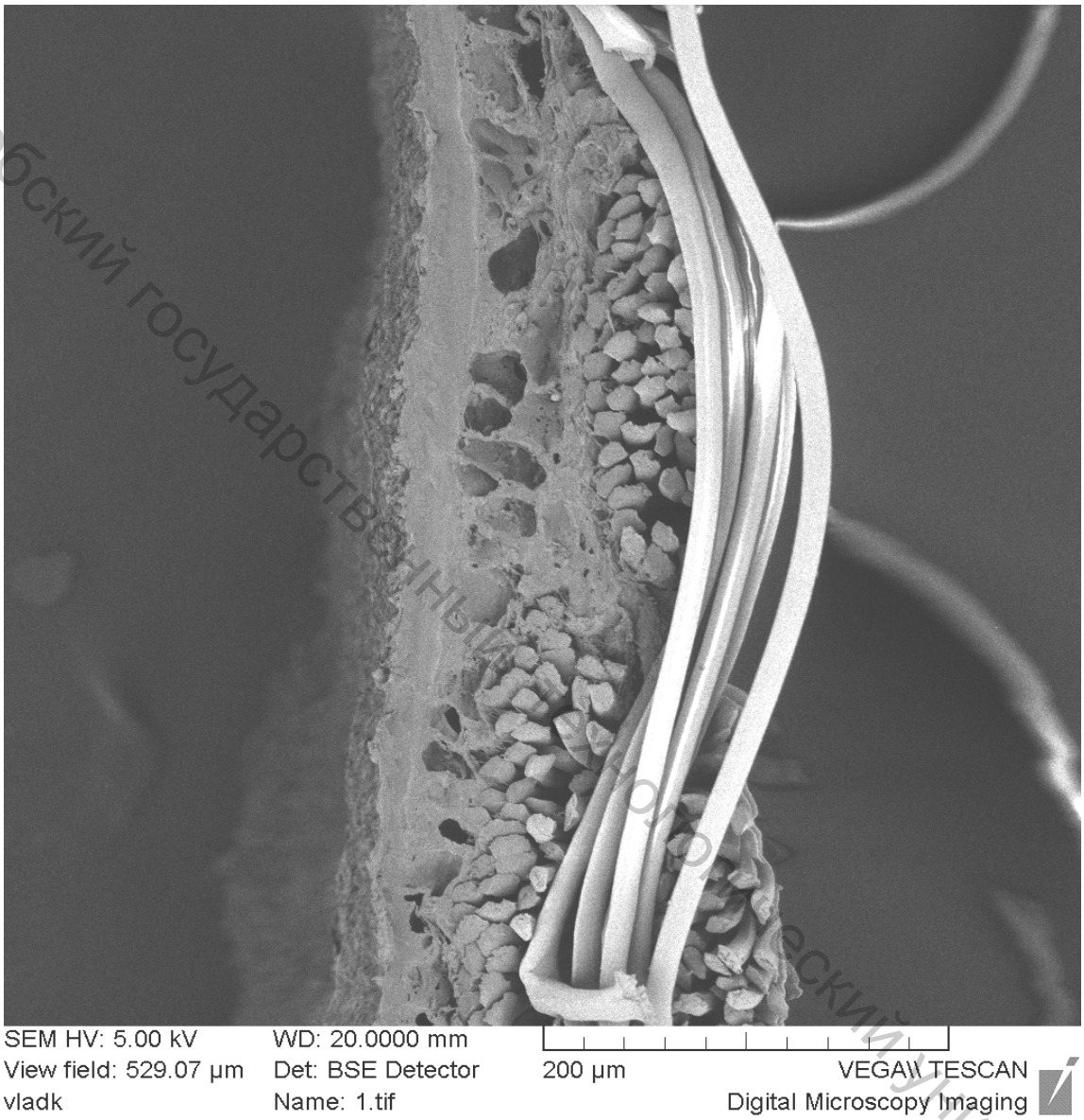


Рисунок 2.9 – СЭМ-изображение поперечного среза образца № 10 (×450)

Похожей структурой обладает образец № 11, СЭМ-изображение поверхности которого представлено на рисунке 2.10. Поверхность образца № 11 модифицирована рыхлыми пористыми частицами неправильной формы с габаритными размерами от 0,2 мкм до 10 мкм и размерами пор около 0,1 мкм. Более крупные частицы выступают над

Витебский государственный технологический университет

поверхностью полимера, создавая рельеф, мелкие же полностью погружены в полимер мембраны.

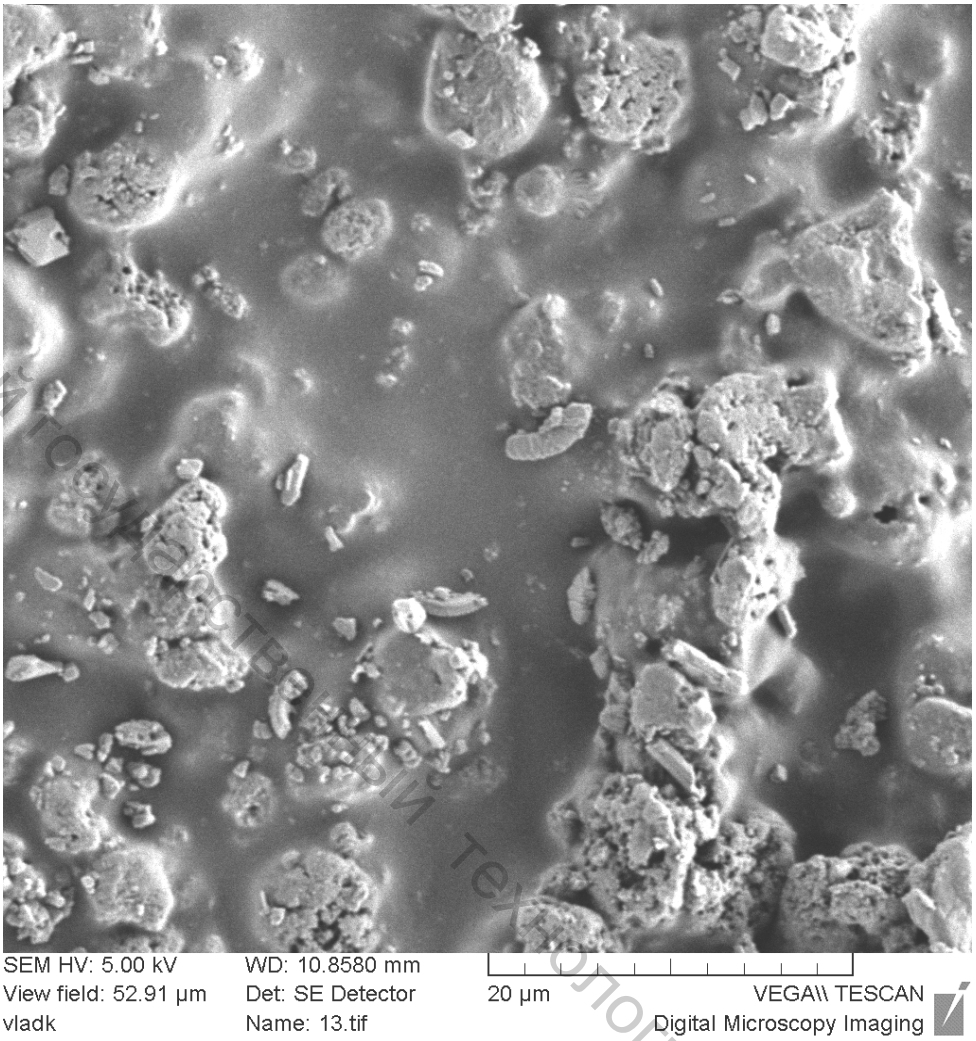


Рисунок 2.10 – СЭМ-изображение поверхности образца № 11 (×4500)

На изображении поперечного среза образца (рис. 2.11) отчетливо визуализируется граница слоев двухкомпонентной слоистой мембраны: внутреннего пористого, толщиной около 40 мкм, обращенного к текстильной тканой основе, и наружного непористого полимерного слоя толщиной около 10 мкм, поверхность которого модифицирована частицами. Так же, как и в образце № 10, наблюдается анизотропия пористой структуры губчатого слоя мембраны в направлении, перпендикулярном поверхности материала. Вблизи монолитного непористого слоя поры имеют значительный размер (около 30 мкм), а со стороны, обращенной к текстильному слою, видна развитая сеть мелких пор диаметром 1–7 мкм. Стенки крупных пор ориентированы поперек толщи мембранного слоя, толщина стенок крупных пор составляет единицы микрометров (не более 10 мкм).

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 2.11 – СЭМ-изображение поперечного среза образца № 11 (×900)

На рисунке 2.12 представлено СЭМ-изображение поперечного среза образца № 9, пористая структура которого развита значительно в меньшей степени, чем у образцов № 10 и № 11.

Видно, что образец также содержит двухкомпонентную мембрану. Пористый губчатый слой толщиной около 90 мкм, обращенный к текстильному тканому слою композита, плотный, с крупными несквозными сообщающимися порами неправильной формы размером от 4 мкм до 60 мкм и толстыми сплошными стенками, соседствует с наружным монолитным слоем толщиной около 15 мкм. Полимер губчатого слоя практически не проникает в пучки филаментов текстильного тканого слоя, точечно прикрепляясь к их поверхности

Витебский государственный технологический университет

длинными перемычками, сопоставимыми по размеру с толщиной стенок пор. Также наблюдается анизотропия губчатого слоя мембраны, но переход от мелкопористого участка к крупнопористому резкий, по границе раздела мембраны и текстильного слоя. То есть основное пространство пор образовано непосредственно вблизи текстильного слоя и ограничено им. Размеры пор значительного объема губчатого слоя не превышают 20 мкм, поры редки, вероятно, замкнуты.

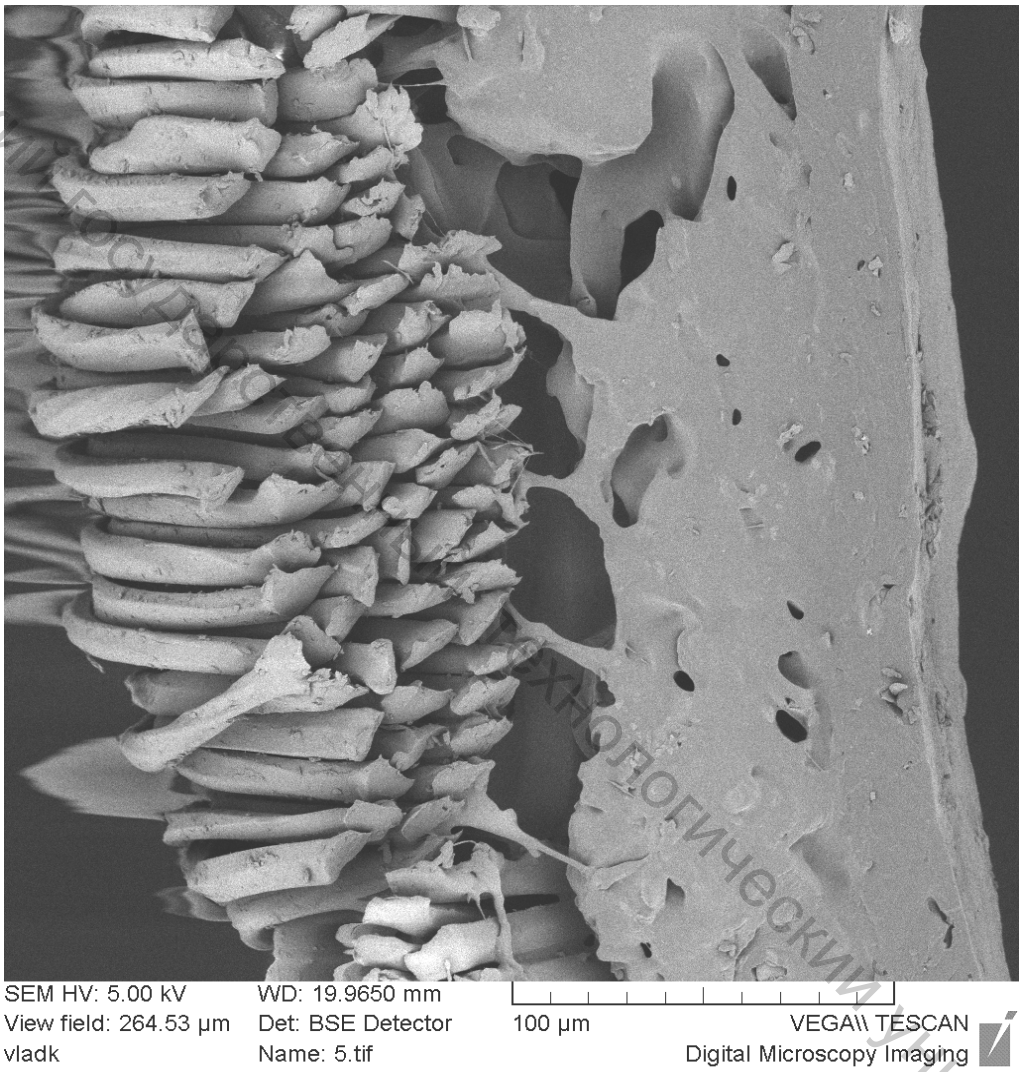


Рисунок 2.12 – СЭМ-изображение поперечного среза образца № 9 (×900)

Текстильная основа этого образца выработана полотняным переплетением из нитей разной толщины, такое переплетение часто называют rip-stop и применяют для изготовления прочных, устойчивых к раздиру полотен, на поверхности которых образуется рисунок в виде клетки, сформированной утолщенными нитями основы и утка. Изображение поверхности образца на рисунке 2.13 показывает, что

Витебский государственный технологический университет

монолитный слой трескается в области гребня волн нитей основы и утка на участках перекрытия утолщенных нитей.

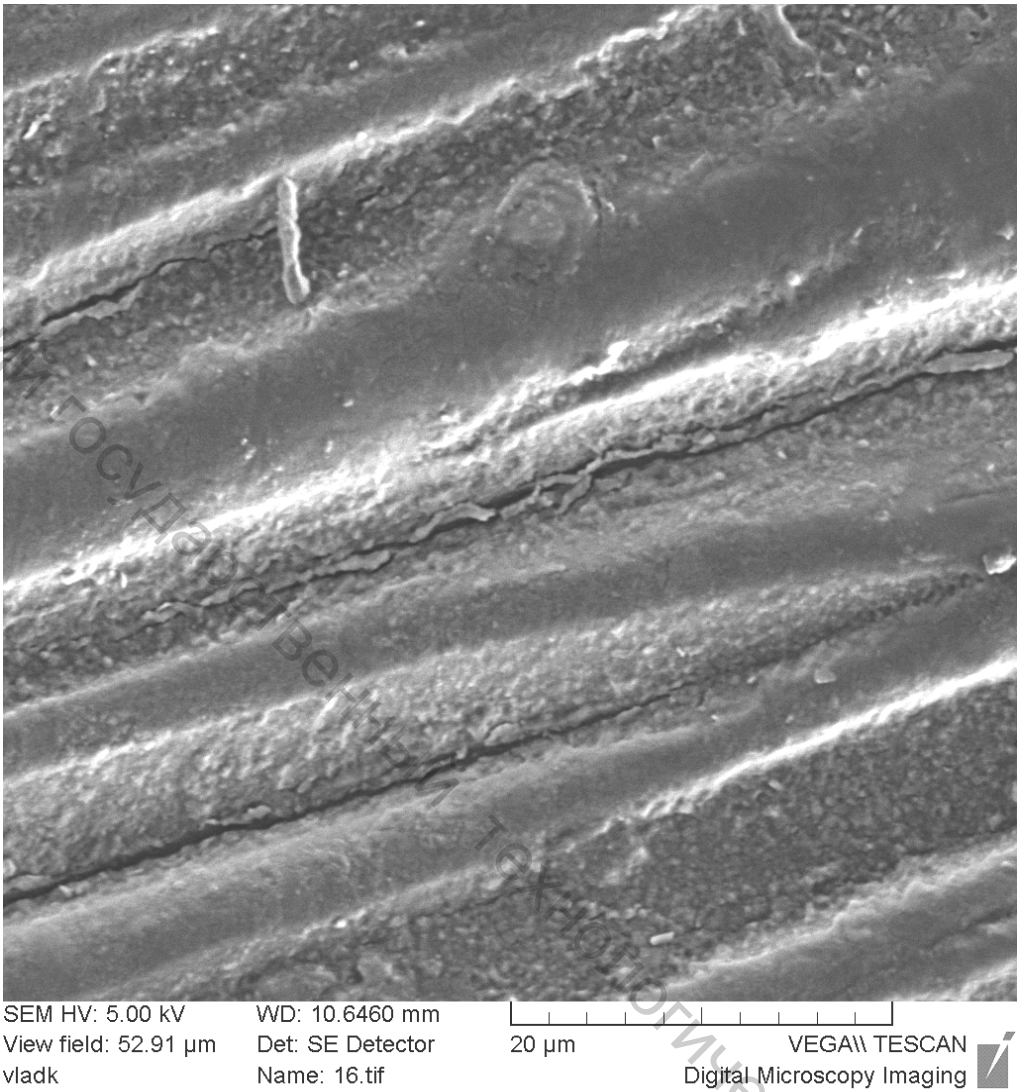


Рисунок 2.13 – СЭМ-изображение поверхности образца № 9 (×4500)

На этих участках губчатый слой практически отсутствует, вдавленный в пространство между утолщениями, а тонкий монолитный слой разрушается уже в процессе производства, не выдерживая натяжения. Ширина образующихся трещин не превышает 1 мкм, длина от 20 мкм до 100 мкм. На рисунке 2.14 видна локализация трещин монолитного мембранного слоя на поверхности образца № 9 в области утолщенных нитей. Вероятно, выбор текстильной основы с утолщенными нитями в переплетении нельзя назвать удачным: поскольку поверхность материала стала рельефной, тонкий слой гидрофильной мембраны нарушился на пиках этого рельефа еще в процессе производства. Очевидно, что дефект усугубится в процессе эксплуатации.

Витебский государственный технологический университет

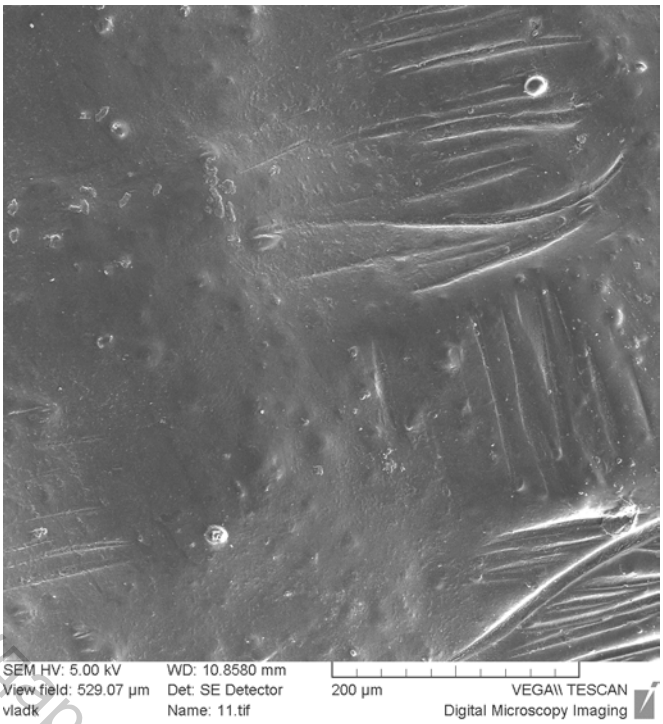


Рисунок 2.14 – СЭМ-изображение поверхности образца № 9 (×450)

Этот пример показывает, как неверный выбор переплетения текстильной тканой основы приводит к дефектам структуры КСТМ.

На рисунке 2.15 представлено СЭМ-изображение поверхности двухслойного образца № 18.

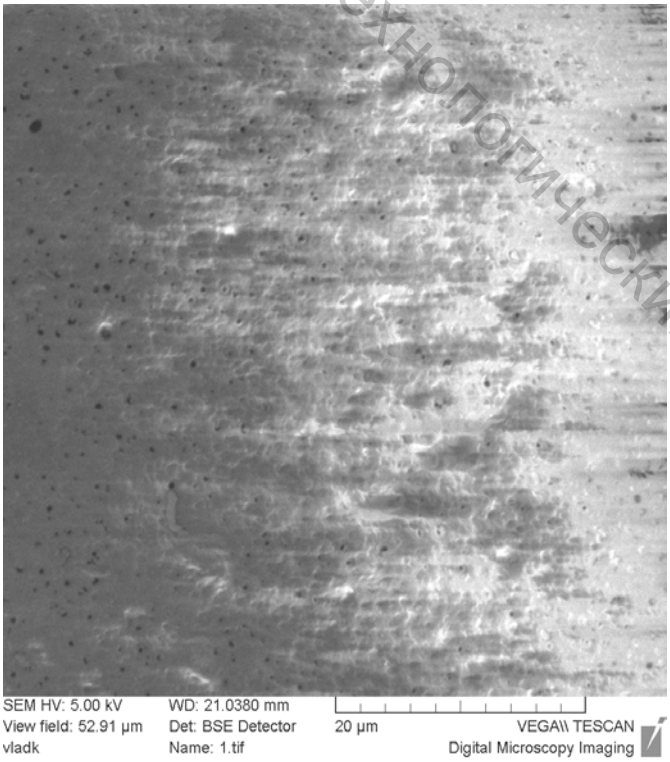


Рисунок 2.15 – СЭМ-изображение поверхности образца № 18 (×450)

Витебский государственный технологический университет

Образец является типичным представителем мембранных текстильных материалов, полученных наносным способом (membrane coating). На изображении поверхности видны устья пор, равномерно её покрывающие. Размеры устьев пор от 0,1 до 1,5 мкм.

На рисунке 2.16 изображен поперечный срез образца № 18, на котором видна развитая структура пор губчатого полимерного слоя: толщина мембранного слоя – около 40 мкм, мелкие поры диаметром менее 1 микрометра пронизывают всю толщу полимера, сливаясь в крупные полости размером 15–25 мкм с тонкими пористыми стенками, расположенные в средней части мембранного слоя. Полимер мембраны проникает в текстильную основу неглубоко, затрагивая лишь гребни волн нитей утка и основы, обволакивая соприкасающиеся с ним филаменты.

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 2.16 – СЭМ-изображение поперечного среза образца № 18 (×1800)

В отличие от образца № 18, образец № 21, СЭМ-изображение поперечного среза которого представлено на рисунке 2.17, не имеет развитой структуры мелких пор в мембранном слое, хотя получен таким же способом.

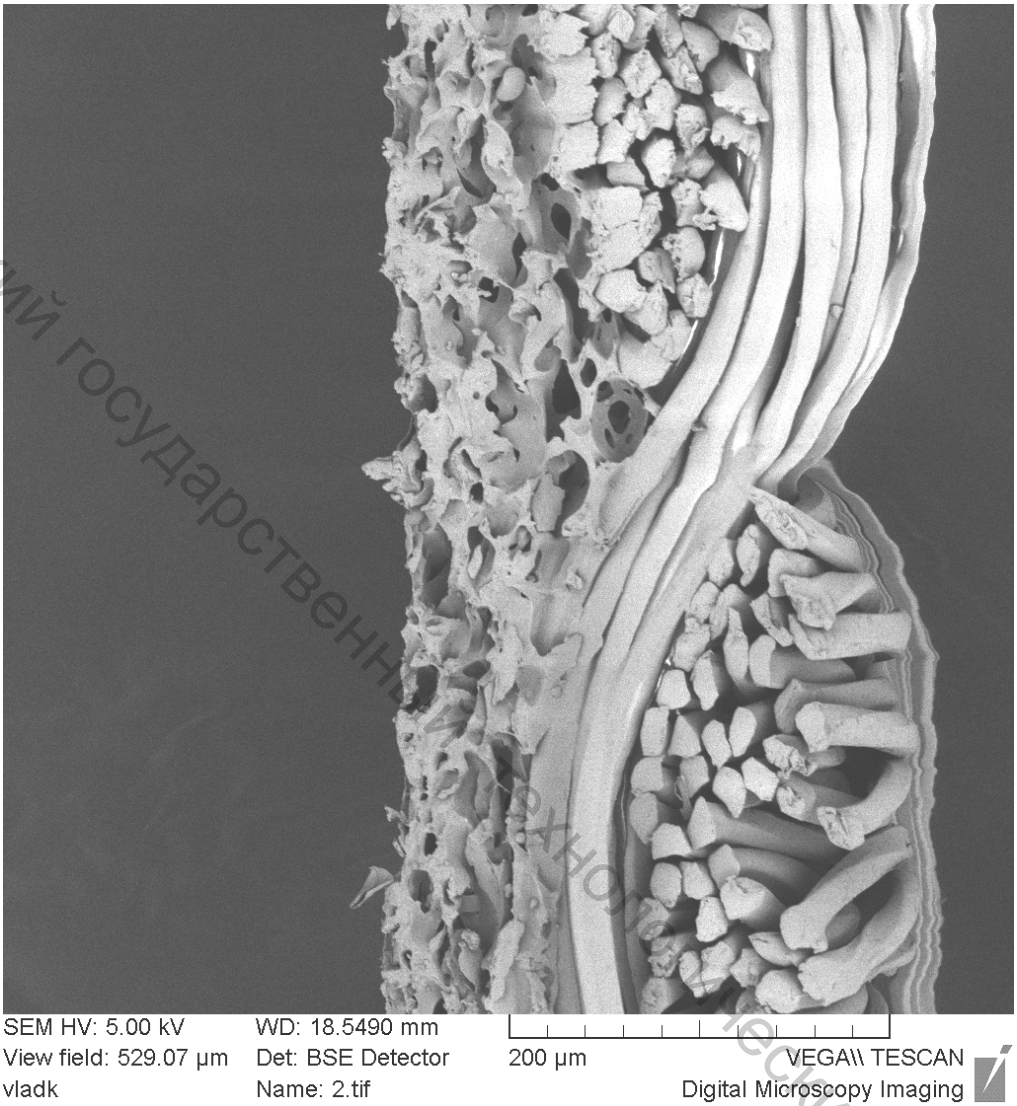


Рисунок 2.17 – СЭМ-изображение образца № 21 (×450)

Пористый мембранный слой у этого образца изотропный, грубый, толщиной около 80 мкм, размеры пустот сопоставимы с размерами филаментов нитей текстильного слоя и составляют около 30–40 мкм. Структура полимера скорее корпускулярная, видны обособленные частицы полимера, представляющие собой разорвавшиеся стенки очень крупных пор, осевшие на филаментах нитей текстильного слоя угловатыми корками и зернами неправильной формы.

Метод сканирующей электронной микроскопии позволил выявить следующее: одинаковые по способу производства мембранные текстильные материалы характеризуются различной структурой. По-

Витебский государственный технологический университет

разному выглядит поровая структура образцов, полученных с применением одного и того же полимера. Для модификации поверхности мембранных текстильных материалов используют различные частицы, позволяющие получить рельеф поверхности мембранного полимерного слоя, чтобы повысить сцепление поверхности материала с рабочими органами швейного оборудования, улучшить механические свойства композита. В последующих главах монографии мы ещё вернемся к результатам исследования структуры, когда получим возможность сравнить гигиенические свойства материалов различных структур и сделать определенные выводы.

По результатам проведенного микроскопического исследования структуры КСТМ выявлены их основные структурные особенности, характерные для различных по способу производства материалов. Определены численные значения следующих параметров:

– тип структуры, количество слоев, поверхностная плотность и толщина КСТМ;

– переплетение, порядок фазы строения, плотность нитей, толщина текстильного слоя;

– тип, средний диаметр, форма и характеристики пор, равномерность, толщина мембранного слоя, глубина его проникновения в текстильный слой и особенности их соединения;

– наличие, форма, структура и локализация модифицирующих поверхность частиц.

Данные о структуре образцов КСТМ необходимы для использования при анализе влияния структуры на свойства материалов.

Витебский государственный технологический университет

Литература

1. Панкевич, Д. К. Оценка эксплуатационных свойств композиционных слоистых текстильных материалов для водозащитной одежды: дис. … канд. техн. наук: 05.19.01 / Д. К. Панкевич ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 244 с.

2. 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 // тез. докл. 48 Междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., посвященной 30-летию ун-та, Витебск, 29 апреля 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 188.

3. Склянников, В. П. Строение и качество тканей : монография / В. П. Склянников. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 176 с.

4. Давыдов, А. Ф. Текстильное материаловедение : учеб. пособие / А. Ф. Давыдов. – М. : Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1997. – 168 с.

5. Электронная микроскопия : учеб. пособие / А. И. Власов, К. А. Елсуков, И. А. Косолапов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 168 с. : ил.

6. Жихарев, А. П. Производство и строение материалов: конспект лекций / А. П. Жихарев. – М. : МГАЛП, ООО ВДФ, 1999. – 243 с.

7. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи: учеб. для вузов : в 2-х ч. Ч. 2 : Технологические процессы производства полимерных пленочных материалов и искусственной кожи / Г. П. Андрианова, К. А. Полякова, А. С. Фильчиков, Ю. С. Матвеев ; под общ. ред. Г. П. Андриановой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 384 с.

8. Lomax, G. R. Hidrophilic polyurethane coatings / G. R. Lomax // Journal of coated fabrics. – 1990. – Vol. 20, № 4. – P. 88–107.

Витебский государственный технологический университет

ГЛАВА 3
ОЦЕНКА ГИГИЕНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУР

3.1 Анализ условий эксплуатации одежды из мембранных текстильных материалов и обоснование показателей их гигиенических свойств

Витебский государственный технологический университет

Получение одежды высокого качества базируется на правильном подборе материалов для конкретного изделия, который основан на всестороннем анализе системы «человек – одежда – окружающая среда» [1]. Именно в процессе эксплуатации проявляется взаимосвязь всех составляющих этой системы. Свойства текстильных материалов, проявляющиеся при их эксплуатации, принято называть эксплуатационными. Согласно классификации Коляденко С. С. [2], эксплуатационные свойства подразделяются на свойства, влияющие на гигиеничность, и свойства, влияющие на срок носки одежды. Анализ ассортимента и области применения КСТМ позволил выявить их основные эксплуатационные свойства, влияющие на гигиеничность: воздухопроницаемость, водоотталкивание, водонепроницаемость, паропроницаемость.

В рамках любой области использования КСТМ существуют ситуации, требующие защиты человека от воздействия опасных атмосферных явлений различной интенсивности, таких как сильный ветер, продолжительный дождь, ливень, град, гроза, шквал, снег, сильная метель, вихрь и т. п. Определение терминов, касающихся опасных метеорологических явлений и процессов, дает ГОСТ Р 22.0.03-95 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения» [3].

Рассмотрим погодные условия, при которых эксплуатируется одежда из КСТМ, как комплекс факторов, воздействующих на материалы, из которых она изготовлена. Основными являются факторы: температура, смачивание, гидростатическое давление – назовём их ***факторами окружающей среды***, поскольку они не зависят от носчика и действуют на материал извне. Комплексное влияние факторов окружающей среды на текстильные материалы исследовали А. П. Жихарев, О. В. Фукина, И. Ш. Абдуллин, Л. Ю. Махоткина [4] и многие другие.

На проницаемость текстильных материалов для атмосферной влаги, кроме структурных характеристик материала, значительное

влияние оказывают тип осадков, разность температур между внутренней и внешней поверхностями одежды, расположение участка поверхности одежды относительно направления действия осадков, скорость движения наружного воздуха. Так, по данным О. В. Метелевой [5], при постоянной температуре и влажности пододёжного пространства с увеличением наружной температуры намокание материала происходит быстрее. При одной и той же интенсивности дождевания наиболее проницаемыми для воды оказываются участки поверхности одежды, испытывающие более высокое нормальное давление, то есть расположенные перпендикулярно направлению дождевания. Давление ветра, действующего со скоростью 24 м/с (сильный ветер и шквал согласно [3]) на детали одежды, составляет 70 кг/м^2 [5], в результате чего сила, с которой капли воды при таком ветре действуют на материалы одежды, многократно возрастает.

По данным производителей одежды, материал считается водозащитным, если он выдерживает гидростатическое давление минимум 1500 мм водяного столба. Однако этого недостаточно в большинстве реальных ситуаций. Чем больше интенсивность осадков, тем больший размер имеют капли дождя. Капли при падении разгоняются до определенной скорости и, ударяясь о поверхность одежды, создают гидростатическое давление. К действию силы тяжести прибавляется скорость ветра, которая при штормах и ураганах достигает 30 м/с и выше. Кроме того, в процессе движения одежда сминается и в определенных участках ткани происходит сжатие-растяжение, что также может увеличить давление воды. Еще один фактор – внешнее давление предметов и тел на материал, например: лямки рюкзаков, участки тела человека, на которые происходит опора в положении сидя (брюки) или лежа (дно палаток) и т. п. [6]. Для оценки необходимой водонепроницаемости материалов для одежды можно использовать таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Требуемая расчетная водонепроницаемость материалов для одежды [6]

Тип дождя	Интенсивность осадков, (мм/ч)	Размер капель, мм	Требуемая расчетная водонепроницаемость, мм водяного столба
Морось	<= 1	0,1	300
Легкий	1...2	0,5	1800
Средней силы	3...10	2	7500
Сильный	10...30	3	11200
Шторм	100...200	8	20000

Минимальная водонепроницаемость, необходимая, чтобы материал выдерживал давление сидящего человека, не промокая, составляет

Витебский государственный технологический университет

8000–10000 мм водяного столба. Для давления, оказываемого локтями или коленями, например, на дно палатки, еще больше - около 20000 мм водяного столба [6].

Скорость движения воздуха оказывает влияние и на микроклимат в пододёжном пространстве. Исследования, проводившиеся Б. Б. Койранским, Ю. В. Вадковской, В. И. Кузьминой [7, 8] и другими авторами, показывают, что при действии ветра скоростью 5 м/с теплопотери организма человека возрастают на 20 % по сравнению с безветренной погодой. При повышении скорости ветра до 10 м/с – на 50 %. Особенно быстро охлаждается организм человека при совместном действии ветра и влаги. В работе [9] исследовано комплексное влияние температуры, влажности и скорости движения наружного воздуха на тепловые ощущения человека в одежде. Показано, что различные сочетания этих факторов дают одинаковые теплоощущения. Например, при одной и той же влажности воздуха с увеличением скорости ветра температура воздуха должна повышаться, при одной и той же температуре воздуха увеличение скорости ветра должно совпадать с повышением влажности воздуха для неизменного теплоощущения одетого человека [9].

Итак, способность КСТМ для одежды защищать человека от воздействия факторов среды, имеющего место в процессе применения изделий из КСТМ по назначению, оценивается показателями воздухопроницаемости, водоотталкивания и водонепроницаемости, а также стабильностью уровня этих показателей в процессе эксплуатации при соответствующей температуре.

Стабильность уровня гигиенических показателей очень важна для оценки качества КСТМ, поскольку в процессе эксплуатации согласно области применения они испытывают интенсивные нагрузки. Человек, совершая движения, подвергает материалы воздействиям большей или меньшей интенсивности, выделяет тепло и пот в пододежное пространство. Многократный изгиб, кручение, растяжение, сжатие, давление, трение, температура и влажность пододежного пространства – эти факторы условно обозначим как ***факторы назначения***, то есть зависящие от характера деятельности носчика, от назначения изделия. В процессе эксплуатации факторы назначения воздействуют на материалы циклически, многократно повторяясь. Это приводит к накоплению усталостных явлений, ослаблению связей между элементами структуры, разрушению материалов в местах наиболее частого приложения нагрузок [10]. Значимость циклических характеристик для оценки качества текстильных материалов любого назначения подтверждена работами А. Н. Соловьева, Б. А. Бузова, Л. Н. Лисиенковой, К. Е. Перепелкина, С. М. Кирюхина, Б. Д. Семака и многих других ученых [10–14]. Устойчивость изделий к действию циклических нагружений принято характеризовать изменением некоторых наиболее значимых

Витебский государственный технологический университет

свойств. Это позволяет с большой долей объективности оценить эксплуатационные свойства материалов [15].

По данным Лисиенковой Л. Н. величина динамической нагрузки на одежду при эксплуатации составляет 1–3 даН/5 см, на отдельных участках – 8–9 даН/5 см, а параметр статического силового давления, зависящий от веса человека, может составлять до 0,45 МПа. Растяжение элементов одежды при движении достигает на участках коленей и локтей до 45 % [10].

Существенное влияние на свойства материалов для одежды оказывает стирка. Известно, что водоотталкивание и водонепроницаемость плащевых и курточных материалов снижается после стирок, а показатель водонепроницаемости после трех стирок нормируется [16].

При высокой интенсивности физической нагрузки количество пота, выделяемое человеком, может достигать 1 л/час [17], а по некоторым данным – до 4 л/час [8], температура кожи повышается до 35,5 ^{o}C [17], в то время как тепловой комфорт характеризуется температурой пододежного воздуха от 15…17 ^{o}C при тяжелой физической работе до 30…32 ^{o}C в покое и относительной влажностью воздуха 35…60 % между кожей и первым слоем одежды [17].

Интенсивность и наличие того или иного компонента факторов среды определяется типом атмосферных осадков, скоростью ветра, климатической зоной и временем года, а также длительностью эксплуатации одежды в неблагоприятных условиях. Воздействия факторов назначения одежды вполне предсказуемы для конкретных видов деятельности, обусловлены ею, а также антропометрическими особенностями носчика, физико-механическими свойствами взаимодействующего с одеждой снаряжения, оборудования и т. п. Топография этих воздействий связана со строением тела человека и характерными для конкретного вида деятельности движениями и тоже вполне определяема. Заметим также, что с возрастанием физической нагрузки все факторы назначения проявляют себя более выраженно: повышается температура в пододёжном пространстве, увеличивается потооделение, более интенсивными становятся движения носчика, а значит, увеличиваются деформации растяжения, изгиба, сжатия, кручения в материале, приводящие к усталостным явлениям. Возникающие при этом глубокие структурные изменения приводят к появлению нежелательных дефектов и, как следствие, к ухудшению внешнего вида и изменению свойств одежды. В связи с этим актуально изучение изменения гигиенических свойств КСТМ при воздействии на них эксплуатационных нагрузок (механических и физико-химических воздействий).

Для исследования стойкости к многократным механическим воздействиям необходимы лабораторные установки, позволяющие

Витебский государственный технологический университет

подвергать текстильные материалы пространственному деформированию. По завершении многоцикловых испытаний оценивают изменения, произошедшие в структуре или свойствах материалов. Критерием износостойкости может быть увеличение проницаемости [18]. Для КСТМ особый интерес представляет такой критерий, как снижение водонепроницаемости.

Старение, наступающее в результате длительного воздействия на КСТМ физико-химических факторов: кислорода воздуха, света и температуры приводит к химическому процессу деструкции полимера мембраны и волокон текстильной основы. К физико-химическим факторам относится действие пота, стирки, химической чистки. В итоге изменяются и гигиенические свойства КСТМ – снижается уровень водонепроницаемости, водоотталкивания, изменяется паропроницаемость, воздухопроницаемость – материалы теряют свои ценные потребительские свойства.

При исследовании влияния стирок на материалы с полимерным покрытием И. В. Кузьминой установлено снижение водонепроницаемости и водоотталкивания материалов, схожих по структуре с КСМ, уже после 4 стирок [19]. Исследования влияния стирок на свойства КСМ предпринимались ведущими лабораториями Японии и США [20, 21] (страны, в которых организовано производство высококачественных КСТМ). Иногда показателем устойчивости к стиркам является время непрерывной стирки (в среднем 200 часов), в течение которого не происходит снижение водонепроницаемости [22]. Чаще указывают показатель количества стирок, при котором гарантирован стабильный уровень водонепроницаемости и водоотталкивания.

Водозащитные материалы, применяемые для изготовления одежды, обладают способностью транспортировать влагу из пространства под одеждой в окружающую среду. Оценка этой способности может проводиться с применением различных показателей, характеризующих гигиеничность. Принято считать, что водозащитные материалы в зависимости от способа придания им водозащитных свойств, четко разделяются на обладающие некоторой гигиеничностью материалы с водоотталкивающей отделкой и негигиеничные материалы с пленочным покрытием. Такая точка зрения сформировалась под влиянием авторитетного мнения исследователей, изучавших гигиенические свойства текстильных материалов более 40 лет назад, указавших на тот факт, что воздухонепроницаемые материалы не пропускают пары влаги в количестве, обеспечивающем удовлетворительный влагообмен. Однако современное материаловедение располагает достоверными данными о наличии у материалов с покрытием определенных гигиенических свойств. Спорным остается вопрос применяемого для оценки гигиеничности

Витебский государственный технологический университет

материалов показателя и способа его определения. Такие ученые, как А. В. Куличенко, В. Г. Петрунина, Е. А. Нечушкина, М. А. Луньков в источниках [23, 24], называют определяющим гигиеничность свойством паропроницаемость, предлагая различные методы ее исследования, результаты которых сложно либо невозможно сопоставить между собой.

В публикациях авторов Р. Ф. Афанасьевой, В. П. Склянникова, П. А. Колесникова, Л. Л. Медведевой, А. И. Коблякова, А. В. Русия [25, 26] и других такой подход встречает критику: ученые указывают на необходимость комплексного подхода к оценке гигиеничности материала, учитывающего не только диффузию водяного пара, но и поглощение влаги материалом. Исследователи Т. О. Бунькова и Т. В. Глушкова для оценки гигиеничности текстильных материалов в работе [27] предлагают использовать методику, позволяющую определять сразу три показателя характеристик влагопереноса, отражающих физический смысл процесса удаления избыточной влаги из пространства под одеждой. Подобная методика описана и А. Н. Браславским в источнике [28] как дающая наглядное представление о миграции влаги в материале. Подробно применение методики рассмотрено в публикациях авторов монографии [29, 30].

Всестороннее, комплексное, системное исследование гигиенических свойств мембранных текстильных материалов возможно при использовании классификации физико-гигиенических свойств материалов, предложенной в работе корифеев текстильного материаловедения В.П. Склянникова, Р.Ф. Афанасьевой, Е.Н. Машковой [25]. Физико-гигиенические свойства, влияющие на микроклимат под одеждой и тепловое состояние человека, предложено разделить на свойства, обеспечивающие обмен веществом (сорбционные и проницаемость), и свойства, обеспечивающие обмен тепловой энергией. В монографии рассмотрены свойства, обеспечивающие обмен веществом, показатели этих свойств, методы и средства их исследования, а также результаты экспериментов по определению показателей паропроницаемости, влагообменных и водозащитных свойств, воздухопроницаемости.

Для обоснования выделения мембранных текстильных материалов в отдельную классификационную группу, а также для характеристики степени их отличия от близких по назначению текстильных материалов проведено сравнение указанных свойств мембранных текстильных материалов со свойствами плащевых и курточных материалов с водоотталкивающей пропиткой и полимерным покрытием.

Витебский государственный технологический университет

3.2 Сорбционные свойства мембранных текстильных материалов

Сорбционными называют свойства материалов, характеризующие их способность поглощать молекулы газов, паров, жидкостей [31]. К сорбционным свойствам материалов, используемых для изготовления изделий легкой промышленности, относят смачиваемость, гигроскопичность, пароемкость, влагоемкость, намокаемость, капиллярность, влагоотдачу.

Применительно к мембранным текстильным материалам особый интерес представляют те сорбционные свойства, которые позволяют использовать эти материалы по назначению: смачиваемость, влагообменные свойства, пароемкость.

Оценка смачиваемости КСТМ водой проводится либо с помощью показателя водоотталкивания, определяемого методом дождевания по ГОСТ 3816-81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств», либо по краевому углу смачивания. Исследования краевого угла смачивания мембранных текстильных материалов, проведенные С.В. Костроминой, показали, что равновесный краевой угол КСТМ находится в интервале $180° > \theta > 90°$ [32]. Это означает, что мембранные текстильные материалы практически не смачиваются водой.

Исследования водоотталкивания КСТМ, проведенные авторами монографии и опубликованные в источниках [33, 34], подтверждают этот тезис.

Способность транспортировать влагу из пододежного пространства в окружающую среду выгодно отличает мембранные материалы от других композитов (прорезиненных материалов, материалов с ПВХ покрытием) и оценивается различными показателями.

Ученые Т. О. Бунькова и Т. В. Глушкова для оценки влагообменных свойств текстильных материалов предлагают использовать методику, изложенную в [27].

Для реализации методики заготавливается сложная проба, состоящая из трех слоёв: увлажненной хлопчатобумажной ткани, исследуемого материала и сухой хлопчатобумажной ткани. Пробы кондиционируют и взвешивают до начала опыта, нижний слой пробы увлажняют 1 г воды, сверху помещают исследуемый образец, ещё выше – сухую х/б ткань. Пробу герметично упаковывают, помещают на 4 часа в климатическую камеру и взвешивают послойно по окончании опыта для расчета показателей влагообменных свойств. По окончании опыта определяют следующие показатели:

Витебский государственный технологический университет

– относительное влагопоглощение (характеризует сорбционную способность) – доля влаги, поглощенной исследуемым материалом за 4 часа при контакте с влажной поверхностью, %;

– относительный влагоперенос (характеризует диффузионную проводимость) – доля влаги, прошедшей через исследуемый материал и впитанной сухой х/б тканью за 4 часа, %;

– остаточное влагосодержание (используется для проверки) – доля влаги, оставшейся в увлажненной х/б ткани по истечении 4 часов, %.

Важно, что методика предусматривает проведение испытаний при температуре (36±2) ºС, что приближает условия опыта к условиям эксплуатации одежды (температуре пододёжного пространства).

Были проведены исследования КСТМ, выработанных различными способами и отличающихся по структуре, производства ОАО «Моготекс» (Республика Беларусь); Ultrex, Hipora и Taslan (Республика Корея) и SportchiefR (Канада). Волокнистый состав текстильных слоев всех исследуемых материалов – полиэфир, полиэфир + хлопок. Мембранный слой у всех материалов выполнен из полиэфируретана с различными добавками. Тип материала установлен в зависимости от способа получения в соответствии с классификацией, предложенной в главе 1 монографии. Характеристика КСТМ различных типов, исследуемых по показателям влагообменных свойств, отражена в таблице 3.2.

Поверхностная плотность определена в соответствии с [35], структура выявлена методом микроскопии и описана подробно в главе 2 монографии.

Таблица 3.2 – Характеристика мембранных текстильных материалов

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав основы / мембраны	Поверхностная плотность, г/м^2	Количество слоев (тип)
1	2	3	4	5
1	Ultrex, Корея	ПЭ / ПУ	115	2 (тип 1)
2			122	
3			118	
4			133	
5			146	
6	SportchiefR, Канада	ПЭ / ПУ/ ПЭ	167	3 (тип 5)
7		ПЭ / ПУ/ ПЭ	151	3 (тип 5)
8	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ	211	2,5 (тип 2)
9		ПЭ / ПУ	185	
10	Taslan, Корея	ПЭ / ПУ	139	2,5 (тип 2)

Витебский государственный технологический университет

Окончание таблицы 3.2

1	2	3	4	5
11	Hipora, Корея	ПЭ / ПУ	136	2,5 (тип 3)
12			137	
13			132	
14	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ/ ПЭ	214	3 (тип 4)
15	SportchiefR, Канада	ПЭ / ПУ/ ПЭ	121	3 (тип 5)
16			272	
17			202	
18	Ultrex, Корея	ПЭ / ПУ	142	2 (тип 1)
19			117	
20	ОАО «Моготекс», РБ		157	
21			171	
22		(ПЭ, ХЛ) / ПУ	266	2,5 (тип 2)
23		ПЭ / ПУ / ПЭ	183	3 (тип 4)

Для сравнения свойств КСТМ и близких им по назначению и сырьевому составу плащевых материалов была исследована группа водозащитных плащевых материалов производства ОАО «Моготекс» и ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей», Республика Беларусь. Характеристика плащевых материалов с водоотталкивающей пропиткой и материалов с пленочным полиуретановым гидрофобным непористым покрытием представлена в таблице 3.3. Результаты испытаний материалов представлены на рисунке 3.1.

Таблица 3.3 – Характеристика плащевых материалов с водоотталкивающей пропиткой и пленочным непористым покрытием

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав, вид отделки	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м^2
24	ОАО «Моготекс»	ПЭ, сплошное ПУ изнаночное покрытие	0,22	138
25			0,12	75
26	ОАО «ВКШТ»	ПЭ+хлопок, ВО пропитка	0,41	226
27			0,38	223
28			0,32	209
29	ОАО «Моготекс»	ПЭ, ВО пропитка	0,22	152
30		ПЭ+хлопок, ВО пропитка	0,36	211
31			0,34	228
32			0,38	217
33		ПЭ, сплошное ПУ изнаночное покрытие	0,34	205

Витебский государственный технологический университет

В таблице 3.4 представлены данные о результатах исследования влагообменных свойств водозащитных материалов и их статистическая обработка.

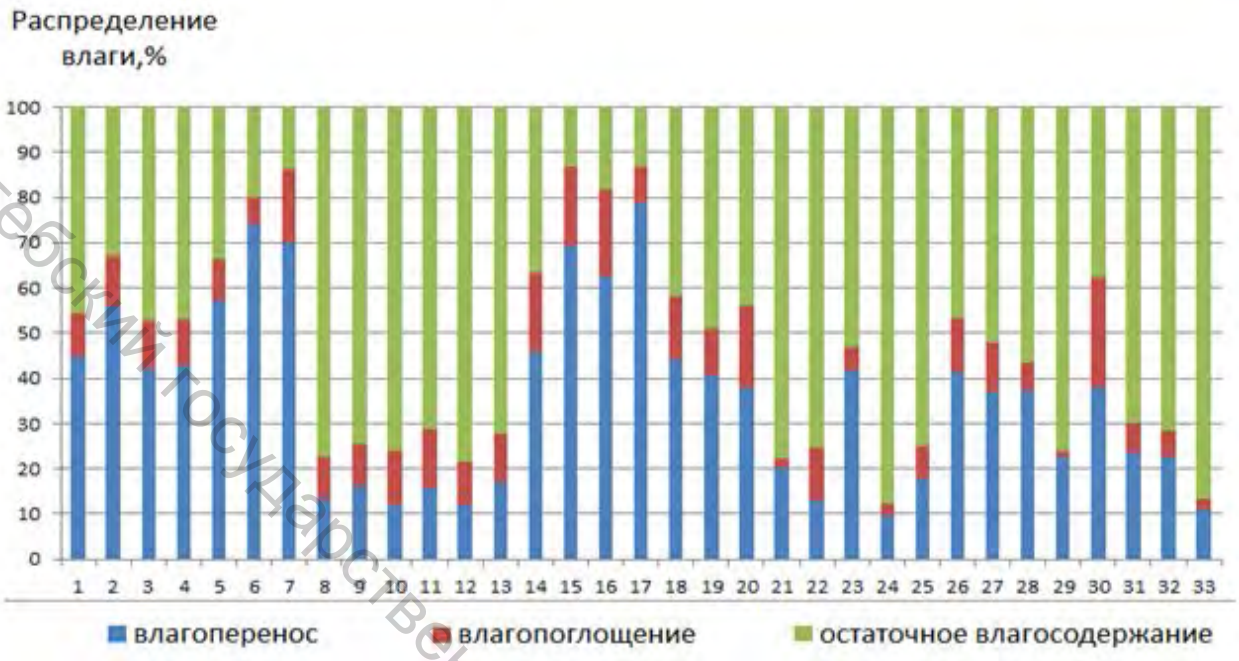


Рисунок 3.1 – Результаты исследования влагообменных свойств водозащитных материалов

Таблица 3.4 – Результаты исследования влагопроводности водозащитных материалов

Номер образца	Масса слоев пробы, г				Среднеквадратическое отклонение, г	Относительная ошибка опыта (P=0,95), %	Относительный влагоперенос, %	Относительное влагопоглощение, %	Остаточное влагосодержание, %
	Мс	Мв	m_c	$m_в$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Исследование КСТМ, содержащих мембранный слой									
1	0,288	0,382	0,45	0,907	0,014	4,8	44,9	9,4	45,7
2	0,305	0,415	0,452	0,782	0,015	5,1	56	11	33
3	0,295	0,400	0,448	0,922	0,014	4,0	42,1	10,5	47,4
4	0,333	0,435	0,49	0,96	0,016	4,3	42,8	10,2	47
5	0,365	0,457	0,512	0,85	0,016	4,2	57	9,2	33,8
6	0,418	0,474	0,471	0,671	0,017	3,8	74,3	5,6	20
7	0,378	0,537	0,465	0,605	0,019	4,3	70,1	15,9	14
8	0,528	0,618	0,43	1,205	0,022	4,4	13,5	9	77,5
9	0,463	0,555	0,526	1,271	0,020	5,0	16,3	9,2	74,5
10	0,348	0,466	0,48	1,241	0,017	4,9	12,1	11,8	76,1
11	0,340	0,470	0,532	1,243	0,017	3,9	15,9	13	71,1
12	0,343	0,441	0,481	1,264	0,016	5,2	11,9	9,8	78,3

Витебский государственный технологический университет

Окончание таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	0,330	0,436	0,496	1,218	0,016	4,7	17,2	10,6	72,2
14	0,535	0,707	0,457	0,825	0,025	4,3	46	17,2	36,8
15	0,303	0,476	0,436	0,569	0,017	5,1	69,4	17,3	13,3
16	0,680	0,873	0,438	0,62	0,031	4,6	62,5	19,3	18,2
17	0,505	0,586	0,455	0,588	0,021	4,9	78,6	8,1	13,3
18	0,355	0,492	0,542	0,962	0,018	3,9	44,3	13,7	42
19	0,293	0,395	0,521	1,01	0,014	5,1	40,9	10,2	48,9
20	0,393	0,575	0,504	0,943	0,021	4,1	37,9	18,2	43,9
21	0,428	0,450	0,496	1,272	0,016	4,1	20,2	2,2	77,6
22	0,665	0,784	0,487	1,239	0,028	4,7	12,9	11,9	75,2
23	0,458	0,509	0,752	1,283	0,018	4,9	41,8	5,1	53,1
Исследование плащевых материалов с покрытием и ВО отделкой									
24	0,345	0,372	0,463	1,339	0,013	5,1	9,7	2,7	87,6
25	0,188	0,258	0,496	1,246	0,009	3,8	18	7	75
26	0,565	0,683	0,512	0,98	0,025	5,3	41,4	11,8	46,8
27	0,558	0,666	0,542	1,063	0,024	4,1	37,1	10,8	52,1
28	0,523	0,587	0,421	0,985	0,021	5,0	37,2	6,4	56,4
29	0,380	0,394	0,436	1,197	0,014	4,9	22,5	1,4	76,1
30	0,528	0,770	0,512	0,891	0,028	4,6	37,9	24,2	37,9
31	0,570	0,635	0,445	1,142	0,023	3,9	23,8	6,5	69,7
32	0,543	0,599	0,447	1,163	0,022	4,9	22,8	5,6	71,6
33	0,513	0,537	0,518	1,385	0,019	5,0	10,9	2,4	86,7

Примечания. Масса воды для увлажнения х/б слоя пробы – 1 г; Мс, Мв – масса образца до и после испытания; m_c $m_в$ – масса х/б слоя пробы до увлажнения и после испытания соответственно; представлено среднее арифметическое значение массы слоев пробы из 5 опытов по каждому образцу.

Сопоставление данных о структуре материалов (глава 2) и результатов исследования позволяет сделать следующие выводы:

1. Плащевые материалы с водоотталкивающей пропиткой обладают более высокими показателями влагопереноса по сравнению с материалами с покрытием. Этот вывод не противоречит общепринятому мнению. Образцы под номерами 26, 27, 28, 30, 31, 32, содержащие в текстильной основе хлопчатобумажную пряжу, лучше пропускают влагу и характеризуются более высокими значениями влагопоглощения по сравнению с образцами, текстильная основа которых выработана только из полиэфирных нитей. Среднее значение влагопереноса в этой группе материалов невысокое – 33,4 %.

2. Наименьшим влагопоглощением характеризуются образцы под номерами 21, 24 и 29, 33, различные по способу придания водозащитных свойств, но показавшие практически одинаковые по величине и соотношению результаты. Эти материалы не содержат в

Витебский государственный технологический университет

своем составе хлопчатобумажную пряжу. Среднее значение влагопереноса в этой группе материалов низкое – 16 %.

3. Низкие значения влагопереноса показали и материалы с двухкомпонентной гидрофильно-гидрофобной мембраной под номерами 8, 9, 10, 11,12,13, 22. В среднем эти КСТМ обеспечивают перенос 14,5 % влаги через слои сложной пробы. Однако за счет влагопоглощения гидрофильной мембраной в целом через материалы с двухкомпонентной гидрофильно-гидрофобной мембраной удаляется больше влаги, чем через материалы со сплошным непористым полиуретановым покрытием – это видно по показателю остаточного влагосодержания сложной пробы.

4. Влагоперенос в среднем 46 % обеспечивают материалы с гидрофобной пористой мембраной типов 1 и 4: образцы под номерами 1, 2, 3, 4, 5, 14, 18, 19, 20. При этом материалы с губчатой структурой мембраны показывают более высокое значение влагопереноса, чем КСТМ с корпускулярным мембранным слоем. Из этой группы резко выделяется образец № 21, который уже упоминался среди наименее влагопоглощающих материалов. Его СЭМ-изображение, представленное на рисунке 2.13 в главе 2, показывает, насколько груба его пористая структура в сравнении со структурой образца № 18. Теперь мы можем наблюдать и разницу в сорбционных свойствах образцов № 18 и № 21 – величина влагопереноса у материала с развитой структурой пор в 2 раза больше.

5. Образцы под номерами 6, 7, 15, 16, 17 являются лидерами по величине поглощенной и пропущенной влаги (влагоперенос около 70 %). Это трехслойные материалы типа 5 и согласно результатам микроскопии у них наиболее тонкий мембранный слой с мелкопористой структурой.

В результате проведенных исследований было выявлено, что водозащитные материалы ***по возрастанию*** способности транспортировать влагу из пространства под одеждой располагаются в следующем ряду:

– плащевые материалы с водоотталкивающей пропиткой или сплошным полиуретановым покрытием, не содержащие в составе х/б пряжу;

– плащевые материалы с водоотталкивающей пропиткой или сплошным полиуретановым покрытием, содержащие в составе х/б пряжу;

– КСТМ с двухкомпонентной мембраной (тип 2 и 3);

– КСТМ с толстой гидрофобной пористой мембраной (тип 1 и 4);

– КСТМ с тонкой гидрофобной пористой мембраной (тип 5).

Мембраны, входящие в состав композита, значительно улучшают потребительские качества материалов за счет того, что являются барьером для атмосферных осадков, но проницаемы для парообразной

Витебский государственный технологический университет

влаги. Показатель паропроницаемости является основным при установлении уровня гигиеничности материала. Высокий уровень паропроницаемости считается признаком качества и комфортности мембранного материала.

В процессе эксплуатации КСТМ контактируют с водой и могут поглощать некоторое её количество. Различные слои КСТМ по-разному реагируют на влагу: в то время как один слой может набухать и увеличиваться в размерах при контакте с влагой (гидрофильный), другой слой (гидрофобный) остается неизменным, что отрицательно сказывается на сохранении структуры материала. Поэтому свойство влагопоглощения нежелательно для КСТМ.

Для мембранных текстильных материалов характерно следующее поведение при погружении в воду: гидрофильный слой набухает, увеличиваясь в размерах, внешне это проявляется в скручивании образца в плотный рулон текстильной основой вовнутрь, как показано на рисунке 3.2 а, в. Такое же скручивание, но текстильной основой наружу, получают после контакта с водой образцы КСТМ типа 1, содержащие гидрофобную мембрану (рис. 3.2 с). По мере высыхания образца степень скрученности снижается. Образцы типов 4 и 5 обладают более уравновешенной структурой за счет симметричности расположения слоев (текстиль-мембрана-текстиль) и не деформируются после стирки.

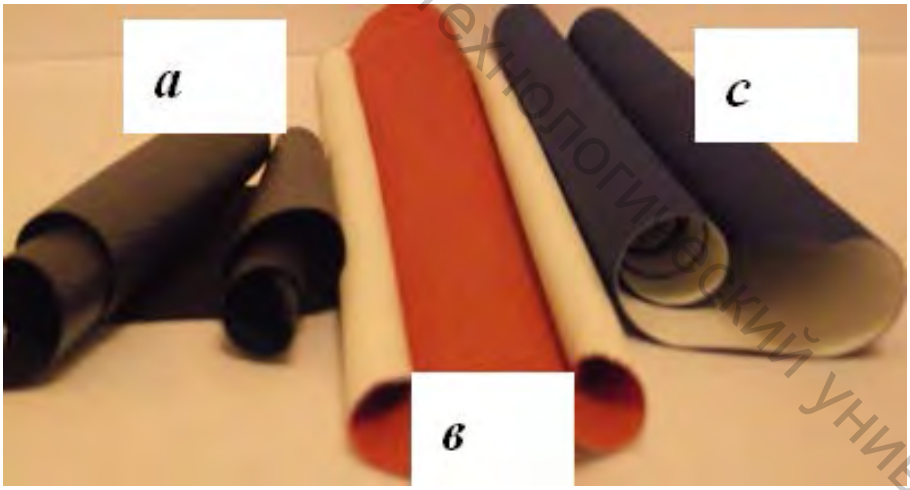


Рисунок 3.2 – Характерное скручивание образцов КСТМ во влажном состоянии

Особенно важно свойство влагопоглощения для материалов, используемых для изготовления изделий, эксплуатирующихся при пониженной температуре воздуха. В этом случае влага, замерзая, сильно нарушает структуру материала. Подробно опыты с мембранными текстильными материалами в различных температурно-

Витебский государственный технологический университет

влажностных условиях изложены в источниках [36, 37] и в ГЛАВЕ 5 монографии.

Для определения влагопоглощения использовали стандартный метод, изложенный в источнике [38]. Результаты исследования представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты исследования влагопоглощения КСТМ

Тип КСТМ	Номер образца	Влагопоглощение, %	Относительная ошибка опыта (P=0,95), %
1	1	12	9,5
	4	14	5,2
	19	10	4,6
	20	8	4,8
2	8	9	7,1
	9	9	5,1
	22	28	4,8
3	10	8	4,7
	11	14	5,4
	12	10	8,1
	13	14	4,9
4	14	1	4,3
	23	2	4,7
5	6	42	5,6
	15	31	8,2
	16	30	4,3
	17	40	4,9

Примечание: представлено среднее арифметическое значение влагопоглощения из 5 опытов по каждому образцу.

Сопоставление результатов исследования влагопоглощения с данными о структуре материалов позволило установить корреляционную зависимость между показателями структуры и свойствами материала [38, 39].

Результат расчета парных коэффициентов корреляции между показателями структуры и влагопоглощения показал, что наибольшая корреляция исследуемых свойств наблюдается с толщиной материала. Корреляционный анализ, выполненный для выявления влияния доли толщины различных слоев, составляющих толщину КСТМ, на влагопоглощение представлен в таблице 3.6. Корреляционный анализ проводился с помощью пакета прикладных программ табличного редактора Microsoft Excel: число опытов n = 23, доверительная вероятность p = 0,99 , критический коэффициент корреляции $r_к$ = 0,537,

Витебский государственный технологический университет

ошибка коэффициента корреляции составила не более 0,1. Это значит, что модуль значения коэффициента корреляции, больший 0,537, с 99 % вероятностью указывает на линейную корреляционную зависимость исследуемых массивов данных.

Таблица 3.6 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Показатели свойств	Соотношение слоев КСТМ в общей толщине		
	Доля толщины текстильных слоев	Доля толщины гидрофобного слоя мембраны	Доля толщины гидрофильного слоя мембраны
Влагопоглощение	0,79	-0,44	0,69

Корреляционный анализ показал, что существует сильная положительная зависимость между долей толщины текстильного слоя и долей толщины гидрофильного мембранного слоя в общей толщине композиционного материала и его влагопоглощением. Наблюдается средняя отрицательная корреляционная связь между долей толщины гидрофобного слоя и влагопоглощением.

Таким образом, для обеспечения низких значений влагопоглощения при проектировании и производстве КСТМ, содержащих мембранный слой, необходимо стремиться к минимизации доли текстильных слоев и доли гидрофильного слоя мембраны в общей толщине КСТМ.

3.3 Проницаемость мембранных текстильных материалов

Проницаемость мембранных текстильных материалов для воздуха, парообразной и капельно-жидкой влаги обеспечивается свойствами мембранного полимерного слоя. Для пористых мембран из гидрофильных полимеров справедливо утверждение о существенном влиянии на процессы проницаемости радиуса пор и распределения пор по размерам. Причем основной вклад вносят наиболее крупные поры [40], величина радиуса которых влияет на показатели воздухопроницаемости и водопроницаемости (водонепроницаемости).

Для монолитных мембран, полученных из гидрофильных полимеров, характерна непроницаемость для воздуха и капельно-жидкой влаги. Очевидно, что при исследовании проницаемости непористых мембран известными методами проникновение воды или воздуха через мембрану будет означать нарушение её целостности,

Витебский государственный технологический университет

следовательно, величина показателей указанных свойств будет в большей степени зависеть от прочностных и деформационных характеристик полимера мембраны и факторов, влияющих на них.

Оценка проницаемости мембранного материала для парообразной влаги также должна учитывать отличия в механизме массо- и теплопереноса, который присущ различным по морфологии мембранам. Так, для гидрофобных пористых мембран при определении показателей проницаемости парообразной влаги наблюдаем процесс фазовой проницаемости через систему сквозных пор, на который влияет структура мембраны, характеризующаяся размером, количеством, степенью извилистости и формой пор, а также температура и влажность разделяемых сред (под/над материалом), определяемые условиями проведения испытания.

В случае гидрофильных монолитных мембран имеет место процесс диффузии, обусловленный химической природой полимера, на который существенно влияют качественный и количественный состав химических элементов материала и влажность (концентрация молекул воды) не только разделяемых сред, но и самого тестируемого образца, изменяющаяся в процессе испытания. Еще сложнее протекают процессы переноса вещества в многокомпонентных слоистых или комбинированных мембранах.

В связи с этим методы и средства определения характеристик проницаемости мембранных текстильных материалов должны быть проанализированы с позиции их информативности для оценки гигиенических свойств мембранных текстильных материалов.

3.3.1 Методы и средства определения паропроницаемости

Проникновение пара через материал обусловлено процессами диффузии вследствие разности давлений пара в атмосферной среде и пододежном пространстве и сорбции-десорбции, а также конвективными и другими процессами, вызывающими движение воздуха у поверхности материала. Соотношение количества пара, проходящего через материал различными путями в условиях относительно спокойного воздуха, зависит от пористости и сорбционной способности материала. Диффузия в порах в условиях, когда размер молекул диффундирующего вещества сопоставим с характерным размером каналов среды, существенно отличается от классических моделей [41]. При уменьшении диаметра пор количество столкновений молекул парообразной влаги со стенками увеличивается пока, наконец, диффузионная длина не станет меньше, чем средняя

Витебский государственный технологический университет

длина свободного пробега молекул газа, а их подвижность начинает сильно зависеть от размеров пор, по которым они диффундируют [42].

На паропроницаемость текстильных материалов влияет химическая природа волокон, их гигроскопические свойства и структурные характеристики материала [43]. Паропроницаемость мембранных текстильных материалов зависит ещё и от структурных характеристик мембранного слоя, а чаще – определяется ими.

Обзор существующих методов определения паропроницаемости позволяет выделить основные показатели, определяемые для оценки этого свойства: коэффициент паропроницаемости (скорость передачи водяного пара), относительная паропроницаемость, сопротивление проникновению паров воды.

Коэффициент паропроницаемости – абсолютный показатель количества водяных паров, проходящих через единицу площади материала за единицу времени.

Относительная паропроницаемость показывает отношение количества паров влаги, испарившихся через поверхность образца материала, к количеству паров, испарившихся с открытой поверхности воды, находящейся в тех же условиях испытания. Чем больше показатели относительной паропроницаемости и коэффициента паропроницаемости, тем более выражено свойство материала пропускать через себя пары воды в направлении уменьшения градиента давления или концентрации.

Сопротивление водяному пару – косвенная характеристика, показывающая сопротивление материала прохождению через него паров влаги в миллиметрах эквивалентного слоя неподвижного воздуха с таким же сопротивлением.

Сопротивление тепловому потоку испарения – другой способ выражения сопротивления испарению в единицах площади материала, расположенного на пористой «потеющей» пластине, через который при определенном перепаде давлений проходят водяные пары, отнесенной к количеству энергии, требуемой для поддержания постоянной температуры пористой «потеющей» пластины. Чем меньше показатель сопротивления паропроницаемости, тем лучше способность материала к выведению паров влаги из пространства под одеждой.

В зависимости от условий проведения испытаний методы определения паропроницаемости можно разделить на следующие группы:

– методы, в которых применяется перепад температур по сторонам образца;

– методы, не предусматривающие создание температурного градиента;

– методы, в которых исследования проводятся при неподвижном наружном воздухе;

Витебский государственный технологический университет

– методы, в которых создается заданная скорость движения наружного воздуха [44].

Производители мембранных материалов используют различные методы определения паропроницаемости для предоставления потребителям информации о способности материала выводить пары влаги из пододёжного пространства. Обычно сведения о паропроницаемости позиционируются как один из показателей комфортности материала, и метод определения паропроницаемости выбирается по принципу представления наилучшего результата тестирования (и умалчивания о других результатах).

В настоящее время приборная база для определения паропроницаемости текстильных материалов представлена различными по конструкции и методическому обеспечению средствами. Наиболее распространены стандартные методы определения ***коэффициента паропроницаемости*** (Moisture vapor transmission rate (MVTR), water vapor transmission rate (WVTR), используемые и производителями мембранных материалов. Эти методы представляют собой разновидности гравиметрического метода, иначе называемого **методом Тейлора или методом вертикально стоящей чаши** (ASTM E96-90, JIS L 1099, ГОСТ Р 57514-2017, ISO 8096:2005). Они достаточно просты для реализации и основаны на том, что исследуемый образец является герметизирующей мембраной сосуда, содержащего воду или поглотитель влаги (десикант). Сосуд с образцом помещают на определенное время в контролируемые условия, чтобы создать разность концентрации водяных паров по обе стороны от исследуемого материала. Испытательную конструкцию взвешивают до и после проведения опыта.

Схематично испытание по методу Тейлора представлено на рисунке 3.3. В ряде методик внутри стакана находится вода, а снаружи – сухой воздух эксикатора (когда на дне эксикатора находится концентрированная серная кислота, непрерывно поглощающая диффундирующие через образец материала пары воды). Стандартные методики, основанные на методе Тейлора, отличаются условиями проведения опыта. В частности, большое значение имеет толщина слоя воздуха между исследуемым образцом и водой (десикантом), площадь поверхности поглотителя и суммарная площадь поверхности исследуемых образцов, их толщина, температура и влажность воздуха снаружи испытательной конструкции, время проведения испытания. В зависимости от сопротивления материала проникновению паров влаги силы, заставляющие пары влаги перемещаться из среды с повышенной влажностью в среду с пониженной влажностью, изменяются, поэтому процесс испарения влаги через образец материала необходимо рассматривать как протекающий во времени нелинейно, с нарушением изотермичности.

Витебский государственный технологический университет

Сравнительный анализ методов определения коэффициента паропроницаемости представлен в таблице 3.7. Для всех указанных в таблице 3.7 методов время проведения испытаний составляет 1 час.

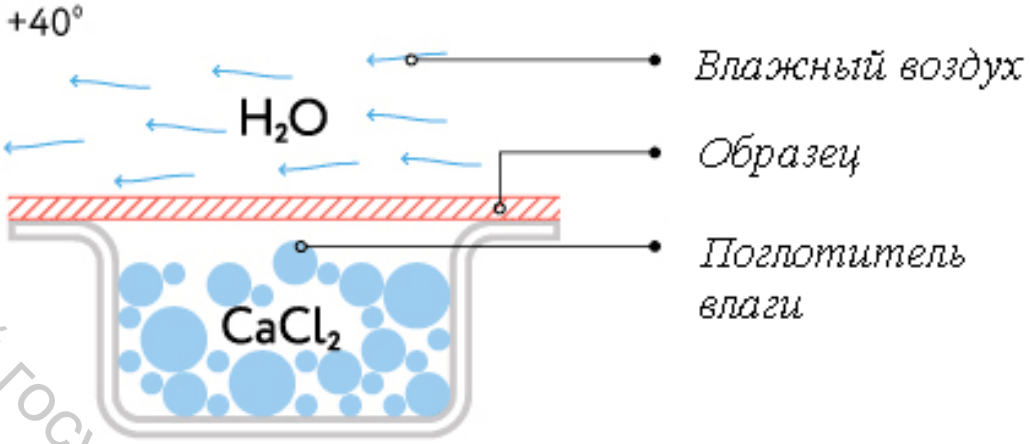


Рисунок 3.3 – Схема испытания по методу Тейлора

Таблица 3.7 – Сравнительный анализ методик определения коэффициента паропроницаемости по методу Тейлора

Номер стандарта	Вещество в стакане	Параметры воздуха снаружи испытательной конструкции		Толщина слоя воздуха между веществом в стакане и образцом, мм	Скорость движения воздуха, м/с
		Темпера-тура, ^{0}C	Влаж-ность, %		
ASTM E96-90 (BW)	Вода	23	50±5	9	2,5
ASTM E96-90 (C)	Кальция хлорид	32,2	50±5	6	2,5
ASTM E96-90 (D)	Кальция хлорид	32,2	50±5	19	2,5
ASTM E96-90 (E)	Кальция хлорид	37,8	50±5	6	2,5
JIS L 1099 A1	Кальция хлорид	40	90	14	0
JIS L 1099 A2	Вода	40	50±5	6	0
JIS L 1099 B1	Калия ацетат (раствор)	23	100	0	0

Витебский государственный технологический университет

Метод по стандарту JIS L 1099 B1 называют методом «перевернутой чаши»: стакан с десикантом герметично закрыт непроницаемой для жидкости политетрафторэтиленовой мембраной, поэтому в процессе опыта для исключения влияния прослойки воздуха на значение коэффициента паропроницаемости стакан переворачивают вверх дном и устанавливают на поверхность исследуемого образца. Образец при этом своей изнаночной стороной соприкасается с такой же водонепроницаемой политетрафторэтиленовой мембраной, уложенной на влажный нетканый материал. Таким образом, создаются условия, при которых влияние воздушной прослойки на результат сведено на нет.

Из таблицы 3.7 видно, что традиционно применяемые в практике материаловедения методики, основанные на методе Тейлора, отличаются по условиям проведения испытаний. Это приводит к несопоставимости результатов исследований, проведенных по различным стандартным методикам. Так, в работе Ю.В. Светлова [45] подробно рассмотрен метод Тейлора и показано, что «физическое содержание паропроницаемости как потока паров влаги, диффундирующего через единицу площади поверхности материала, определяется не только значением диффузионного сопротивления материала, но и общим диффузионным сопротивлением массопередаче, а также её движущей силой». Все эти величины непрерывно изменяются в процессе опыта, находятся во взаимосвязи, поэтому зачастую ошибка опыта при использовании метода Тейлора составляет более 30 % [45].

Результаты исследования паропроницаемости КСТМ, выработанных различными способами, полученные с помощью различных стандартных методов и средств исследования паропроницаемости отражены в источнике [46]. Схемы опытов представлены на рисунке 3.4 [46].

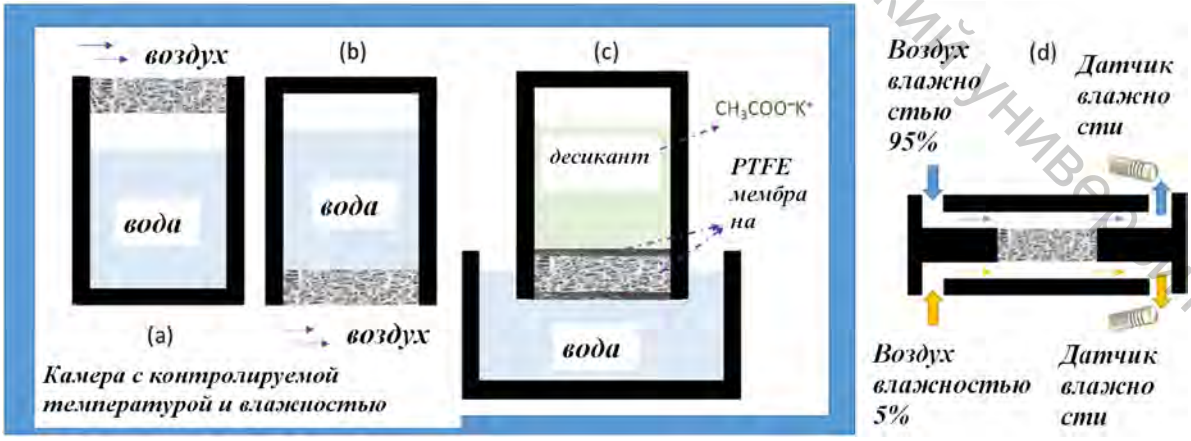


Рисунок 3.4 – Схемы испытательных конструкций для определения паропроницаемости КСТМ по стандартным методикам

Витебский государственный технологический университет

Ниже в таблице 3.8 приведена часть экспериментальных данных. Следует отметить, что среди проанализированных методов три (a, b и c) являются разновидностью метода Тейлора. Метод (d) называют методом динамически влагопроницаемой ячейки, суть его ясна по схеме на рисунке 3.4. Указанные стандартные методы интерпретируют результаты путем расчета показателя коэффициента паропроницаемости в одних и тех же единицах измерения. Представлены результаты исследования КСТМ, обладающих наивысшими значениями коэффициента паропроницаемости и принадлежащих к структурному типу двухслойных мембранных текстильных материалов с гидрофобной пористой мембраной, полученных наносным и переносным способами (microporous coatings/laminate).

Таблица 3.8 – Результаты испытаний паропроницаемости КСТМ различными методами, г/м^2/24 ч [46]

Обозначение стандарта и характеристика метода / Наименование КСТМ	ASTM E 96 B **(a)** T = 23 °C, влажность 50 %	ASTM E 96 BW**(b)** T = 23 °C, влажность 50 %	JIS L 1099**(c)** Ткамеры = 30 °C, Тводы = 23 °C	ASTM F 2298**(d)** влажность: 95 %, 5 %
Entrant G2–XT	926,0	5084,8	21272,8	5742,0
eVent (Nylon fabric)	984,8	7265,6	27825,6	6162,5
eVent (Polyester fabric)	942,8	6201,6	20716,0	6039,2
Helly-Tech® Extreme	785,2	3056,8	6696,0	3353,5
Omni-Tech Dry 5	913,6	5317,2	16728,8	5098,5
Proof Ace (type M)	690,8	3012,8	6050,4	2199,0
Triple Point Ceramic	776,8	2972,0	5305,6	3094,2

Анализ данных в таблице 3.8 показывает, что информация о методе испытания критически необходима при оценке результата исследования паропроницаемости. Важно соотносить условия испытаний, моделируемые методом, с реальными условиями эксплуатации материала, чтобы выбрать метод испытания или оценить известное значение показателя.

К методам, позволяющим определять ***сопротивление проникновению паров воды,*** относятся следующие два метода: метод определения сопротивления тепловому потоку испарения и метод определения сопротивления проникновению водяного пара по эквивалентному слою воздуха.

Метод определения сопротивления тепловому потоку испарения (Evaporative resistance по ISO 11092:1993, ISO 1999, ASTM F 1868, EN 31092) считается наиболее реалистичным, так как в нем лабораторные данные сопоставляются с ощущением комфорта людей,

Витебский государственный технологический университет

выполняющих упражнения или бегущих по беговой дорожке. Исследуемый образец размещается на металлизированной пористой пластине. Пластина подогревается, через мелкие отверстия в пластине подается вода, нагретая до температуры +35 °С, – моделируется процесс потоотделения. Снаружи конструкция обдувается потоком воздуха с контролируемыми параметрами. В процессе измерений температура пластины поддерживается на постоянном уровне. Испаряясь, водяной пар проходит сначала через политетрафторэтиленовую мембрану (для исключения контакта жидкой влаги и образца), затем через образец, а пластина охлаждается. На испарение воды тратится энергия и для поддержания температуры пластины постоянной нужна дополнительная энергия.

На рисунке 3.5 представлена схема конструкции испытательного устройства для реализации метода «потеющей пластины».

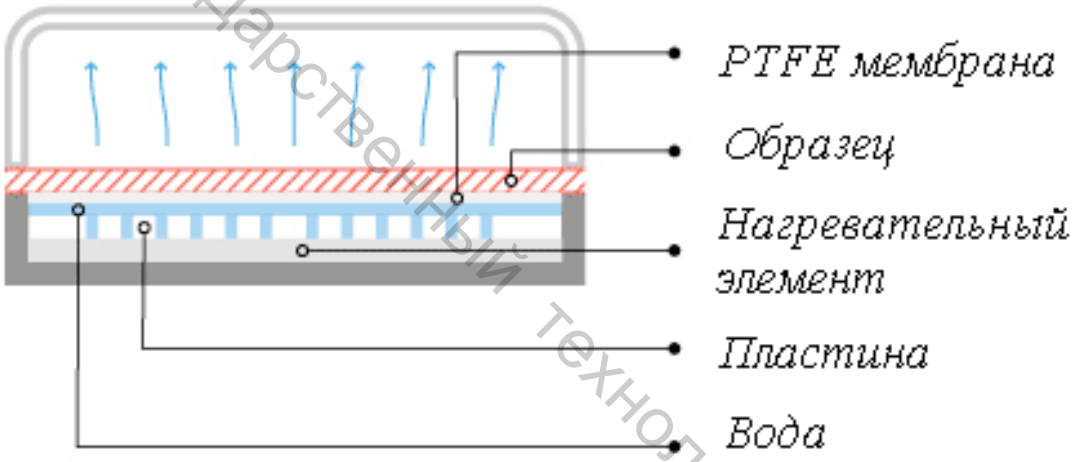


Рисунок 3.5 – Конструкция испытательного устройства для определения сопротивления тепловому потоку испарения

Показатель сопротивления проникновению паров воды Ret (Resistance Evaporative Thermique) подсчитывается исходя из того, сколько энергии надо затрачивать на поддержание постоянной температуры пластины. Чем он меньше, тем выше паропроницаемость материала. Для расчетов используют формулу (3.1)

$$\mathrm{Re}t = \frac{(P_s - P_a)\cdot A}{H}, \qquad (3.1)$$

где Ret – общее сопротивление передаче энергии при испарении воды в системе из тестируемого образца и воздуха, м^2·Па / Вт; A – площадь образца, м^2; P_s – давление водяного пара на поверхности нагретой

Витебский государственный технологический университет

пластины, Па; P_a – давление водяного пара в воздухе, Па; H – потребляемая пластиной мощность, Вт.

Показатель Ret используется для оценки комфортности одежды специального назначения и бытовой одежды, защищающей от дождя. Так, согласно EN 343:2003 рекомендуемое максимальное время носки одежды из водозащитных материалов составляет для материалов с показателем $20 < \text{Ret} \leq 40$ при температуре воздуха 20 °С не более 4 часов, тогда как одежду из материала с показателем $\text{Ret} \leq 20$ при той же температуре можно носить свыше 12 часов.

Метод определения сопротивления проникновению водяного пара по эквивалентному слою воздуха (CAN/CGSB-4.2N249-99) основан на вычислении толщины слоя воздуха, обладающего такой же паропроницаемостью, что и исследуемый образец. На рисунке 3.6 показана схема установки для определения сопротивления паропроницаемости по эквивалентному слою воздуха [47].

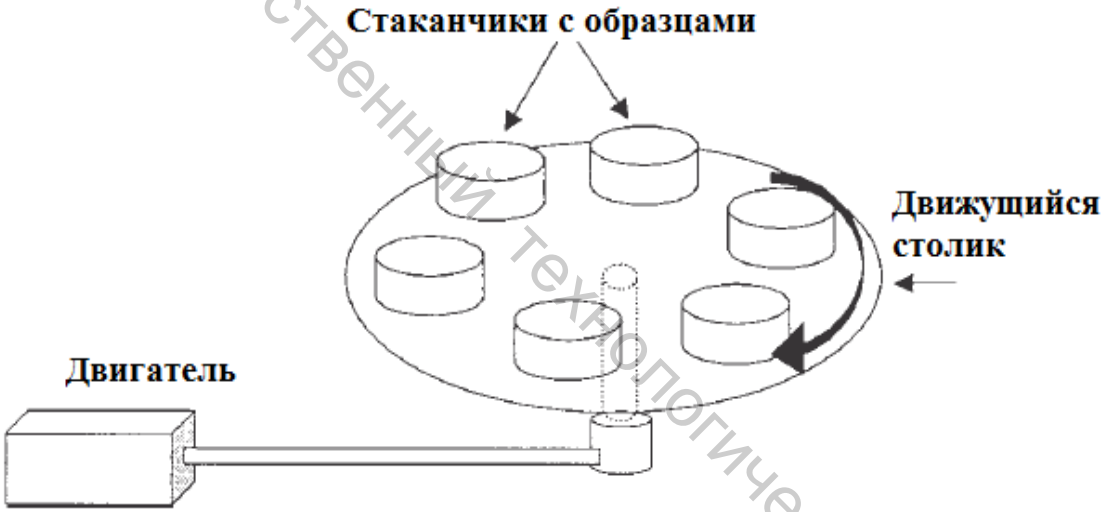


Рисунок 3.6 – Схема установки для определения сопротивления проникновению водяного пара по эквивалентному слою воздуха

При этом непосредственно из эксперимента определяют массу воды, испарившейся из испытательного стакана через исследуемый образец при определенных условиях (температура воздуха – +20 °С, относительная влажность – 65 %, продолжительность испытания – 1 час). Путем несложных расчетов получают значение скорости передачи водяного пара (г/см^2·с). Для дальнейших расчетов используют закон диффузии Фика, записанный в виде формулы (3.2)

Витебский государственный технологический университет

$$\frac{Q}{a \cdot t} = \frac{(C1 - C2)}{R}, \qquad (3.2)$$

где Q – потеря массы, в граммах, за период времени t, в секундах, через площадь a образца материала, см^2; (*C1-C2*) – разница между концентрациями водяного пара двух поверхностей образца, г/см^3; *R* – сопротивление образца проникновению водяного пара, с/см.

Параллельно с испытаниями материала с толщиной воздушной прослойки в испытательной конструкции 9 мм проводят испытания контрольных стаканов с различной толщиной воздушной прослойки: 4 мм, 9 мм, 14 мм [47].

В настоящее время проблеме адекватной оценки паропроницаемости уделяется большое внимание. Так, в работе Лунькова М. А. и Куличенко А. В. [48] сообщается о разработке экспресс-метода, позволяющего оценивать интенсивность влагопереноса в текстильных материалах и получать результаты сопоставительного анализа их паропроницаемости с большей достоверностью, чем при использовании метода Тейлора.

При стандартизации показателей проницаемости и методов их оценки, в настоящий момент исходят в основном из нормальных, стационарных условий эксплуатации и испытаний. Реальный диапазон условий носки одежды значительно шире, поэтому сформированные на таких принципах пакеты одежды не всегда являются эффективными [47].

Как показывает анализ работ по оценке свойств изделий легкой промышленности, нельзя рассматривать свойства материалов в отрыве от процессов, происходящих под влиянием эксплуатации, и явлений, наблюдаемых в окружающей среде. Это связано с тем, что скорость воздуха при теплообмене может изменяться почти от 0 м/с при естественной конвекции до 20 м/с и более при воздействии ветра на открытой местности, где ветер создает сложную аэродинамическую ситуацию не только вокруг, но и внутри одежды человека. При этом наружный воздух может проникать в пространство под одеждой как вследствие воздухопроницаемости материалов, так и конструктивных особенностей изделия, имеющего различные зазоры, из-за чего конвективная составляющая в ряде случаев становится доминирующей в теплообмене рассматриваемой системы, являясь ярко выраженной функцией скорости ветра, а также температур поверхности тела и воздуха [49].

Проблема исследования паропроницаемости и тепломассообмена в системе «человек – одежда – окружающая среда» приобретает большое значение в условиях современного направления развития нового подхода к проектированию одежды как динамичной адаптивной

Витебский государственный технологический университет

структуры, выполняющей защитную функцию, реагирующую на изменение внешней среды. Поэтому совершенствование методов оценки паропроницаемости с учетом изменчивости газовлажностного состава пододежного пространства и параметров окружающей среды является актуальной задачей. Немаловажным является изучение вопроса сохранения первоначальной паропроницаемости мембранных материалов в течение всего срока эксплуатации одежды, что обусловлено строением мембранных текстильных материалов.

Паропроницаемость водозащитных композиционных слоистых материалов, содержащих полимерную мембрану, исследовали, в основном, за рубежом. Это связано с тем, что промышленное производство таких материалов активно развивалось в Германии, Великобритании, США и Японии с середины 70-х годов прошлого века, в то время как на постсоветском пространстве освоение производства подобных материалов началось лишь 30 лет спустя. Данные, полученные в результате исследований по различным методикам, были несопоставимы. Так, паропроницаемость, рассчитанная по одной методике, составляла 500 г/м^2/24 ч, а по другой – 20000 г/м^2/24 ч для одного и того же материала [50].

Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности водозащитных материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой. Стандартные методики, используемые для оценки паропроницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения паропроницаемости варьируются в широком диапазоне.

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на паропроницаемость текстильных материалов, поэтому условия проведения испытаний следует увязывать с условиями эксплуатации.

Ученые Р. Сальц, Х. Роуи провели ряд исследований [51], в которых указали на то, что паропроницаемость является функцией температуры и относительной влажности по обе стороны от исследуемого образца. При различных сочетаниях данных параметров прослеживается прямая положительная корреляционная зависимость паропроницаемости и разницы парциальных давлений водяного пара по обе стороны от образца. Следовательно, изменение одного из параметров влечет за собой закономерное изменение другого. В таблице 3.9 представлен анализ стандартных методов определения паропроницаемости с позиции создаваемой условиями опыта разницы давлений в сравнении с реальными климатическими условиями.

Учеными Д. Холмсом, К. Грюнди был проведен регрессионный анализ и получены зависимости паропроницаемости от разницы

Витебский государственный технологический университет

парциальных давлений для некоторых видов материалов с водозащитным паропроницаемым покрытием. В таблице 3.10 отражены результаты исследований. Этими же исследователями установлено, что влажные мембранные текстильные материалы обладают более низкой паропроницаемостью по сравнению с сухими [52].

Таблица 3.9 – Сравнительный анализ условий определения паропроницаемости [52]

Стандартный метод или климатические условия	Сторона высокого давления		Сторона низкого давления		Разность давлений, Па
	температура, °С	относительная влажность воздуха, %	температура, °С	относительная влажность воздуха, %	
ИСО 11092:1993	35	100	35	40	3093
ИСО 15496:2004	23	100	23	23	2168
ИСО 8096:2005	20	100	20	65	818
JIS L 1099(A1)	40	90	40	0	6638
Различные климатические условия и условия эксплуатации	37	100	6	100	5330
	37	100	0	0	5840
	35	100	35	0	5623
	20	100	20	0	2338
	5	100	5	0	872
	-5	100	-5	0	201
	-20	100	-20	0	52

Таблица 3.10 – Зависимость паропроницаемости (у, г/м^2/24 ч) от разности давлений (х, Па) [52]

Материал	Уравнение регрессии	Достоверность аппроксимации, R^2
тканая ПА основа + микропористое ПУ гидрофобное покрытие	$y=929x-194x^2+30.4x^3+58$	0,93
тканая ПА основа + ПЭ гидрофильное покрытие	$y=928x-148x^2+25.5x^3+78$	0,94
трикотажная ПА основа + ПТФЭ микропористое гидрофобное покрытие	$y=185x-580x^2+81.9x^3-38$	0,97

Витебский государственный технологический университет

В 1997 году Д. Рукман опубликовал результаты исследований влияния ветра, направленного параллельно лицевой поверхности материала, на паропроницаемость водозащитных паропроницаемых материалов. Согласно данным эксперимента, ветер способствует увеличению скорости передачи водяных паров из пододежного пространства наружу, а убывание паропроницаемости материала при действии определенных погодных условий происходит в ряду: ветер, пониженная влажность наружного воздуха, дождь [5]. Очевидно, что с увеличением физической активности (повышением температуры и влажности пододежного пространства) паропроницаемость материала повышается вследствие увеличения градиента давлений водяного пара.

Таким образом, паропроницаемость материалов не является фиксированной величиной, эта характеристика изменяется в зависимости от интенсивности физической активности человека в одежде и погодных условий и возрастает с увеличением разности парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала.

Значение коэффициента паропроницаемости высококачественных КСТМ, определенное по методу Тейлора, при температуре опыта 23 °С и относительной влажности 50 %, с расстоянием от поверхности воды до поверхности исследуемого образца 9 мм составляет около 1000 г/м^2/24 ч.

Наивысшее значение коэффициента паропроницаемости КСТМ демонстрируют при использовании метода перевернутой чаши, лучшие артикулы двухслойных мембранных текстильных материалов с гидрофобной пористой мембраной показывают в этом опыте значение коэффициента паропроницаемости свыше 20 000 г/м^2/24 ч.

При оценке паропроницаемости методом «потеющей пластины» используют показатель сопротивления испарению Ret и следующую шкалу оценки результата: Ret ≤ 5 – отлично; 5,1 ≤ Ret ≤ 20 – хорошо; 20,1 ≤ Ret ≤ 35 – приемлемо; Ret > 35,1 – материал не допускается для применения в одежде. Лучшие образцы КСТМ демонстрируют результаты в диапазоне оценки «хорошо».

Самыми известными производителями материалов с мембраной являются фирмы W.L. GORE & Associates (США), Sympatex (Германия), Toray (Япония). Следует отметить, что промышленное производство мембранных материалов фирмой W.L. GORE & Associates было налажено в начале 70-х годов 20 века. В таблице 3.11 представлены характеристики некоторых материалов, выпускаемых этими фирмами [20, 22, 53].

Нельзя умолчать о крайней недостаточности отечественной методической, нормативной и приборной базы определения паропроницаемости материалов легкой промышленности. Только ГОСТ 22900-78 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения»,

Витебский государственный технологический университет

регламентирующий неизотермические и изотермические условия испытаний (метод Тейлора), дает рекомендации по проведению опытов. При этом нет ни одного международного стандартного метода, используемого для оценки паропроницаемости КСТМ, с которым он был бы гармонизирован. Несколько лучше разработана нормативная база оценки паропроницаемости строительных материалов. Это создает определенные препятствия для развития материаловедения мембранных текстильных материалов, поскольку лишает исследователей возможности соотносить, представлять и обсуждать результаты экспериментов в мировом научном сообществе, что тормозит научно-технический прогресс в данной области.

Таблица 3.11 – Характеристика КСТМ зарубежных производителей

Мембранный материал	Паропроницаемость, оцениваемая показателем	
	RET, $м^2 \cdot Па/Вт$	MVTR (B1), $г/м^2/24$ ч
Gore-Tex 3-Layer	до13	-
Gore-Tex 2-layer	до 11	-
Gore-Tex XCR 3-Layer	до 6	-
Gore-Tex XCR 2-Layer	до 4.5	-
Gore-Tex Paclite	4	-
Sympatex	-	2500
ENTRANT HB	-	свыше 20000
Dermizax-EV 3-Layer	-	свыше 16000
Dermizax-EV 2-Layer	-	свыше 20000
Dermizax 3-Layer	-	свыше 8000

Ниже представлен перечень международных стандартов, в соответствии с которыми проводится тестирование КСТМ:

– метод вертикально стоящей чаши (The upright cup test) – с использованием воды: JIS L 1099 A2, JIS Z 0208, ISO 2528; с использованием десиканта: ASTM E96, JIS K 6328, JIS L 1099 A1;

– метод перевернутой чаши (The inverted cup method) – JIS L 1099 B1, ASTM E96-BW;

– метод потеющей пластины (сопротивление испарению) (The sweating hot plate method (evaporative resistance) – ISO 11092, ASTM F 1868, EN 31092;

– метод динамически влагопроницаемой ячейки (The dynamic moisture permeation cell) – ASTM F 2298 [46].

Витебский государственный технологический университет

3.3.2 Исследование паропроницаемости мембранных текстильных материалов различными методами

Цель исследования – оценка влияния способа производства и связанных с ним особенностей структуры на паропроницаемость водозащитных композиционных материалов, содержащих мембрану. Проведена микроскопия образцов материалов, исследована их паропроницаемость и сделан вывод о проницаемости для паров воды, различных по способу производства и структуре композиционных материалов.

Для исследования паропроницаемости материалов был выбран гравиметрический метод, реализованный с помощью испытательного комплекта Sampler 2000, прилагающегося к анализатору влажности Radwag M-50. Устройство основано на прецизионных весах с дискретностью 1 мг и сушильной камере с датчиком температуры, электроникой преобразования сигнала и цифровым дисплеем.

Метод является разновидностью метода Тейлора и основан на измерении убыли влаги при испарении из емкости, герметично закрытой исследуемым материалом. Температура в камере прибора контролируется в течение всего опыта и составляет 40 °С. Время испытания – 1 час.

Методика проведения испытания предусматривает предварительное кондиционирование и вырезание образцов круглой формы площадью s_0, проведение «холостого» испытания без материала для расчета массы испарившейся при заданных условиях влаги (m_0), а также выполнение действий, описанных в инструкции по эксплуатации прибора. Сущность испытания сводится к тому, что до начала испытания определяют массу кондиционированного образца материала (M_1) и массу воды в испытательной чаше (m_1), затем проводят испытание при заданных условиях, снова определяют массу образца материала (M_2) и массу воды в испытательной чаше (m_2). По результатам проведения испытаний определяют следующие характеристики:

Абсолютная паропроницаемость, *Па*, г/м^2/ 24 часа, по формуле (3.3)

$$П_a = \frac{(M_1 + m_1) - (M_2 + m_2)}{s_0} \cdot 24 . \qquad (3.3)$$

Относительная паропроницаемость, *По*, %, по формуле (3.4)

Витебский государственный технологический университет

$$П_o = 100 * \frac{(M_1 + m_1) - (M_2 + m_2)}{m_0}. \quad (3.4)$$

Результаты отражены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Результаты испытаний КСТМ методом Тейлора

Тип КСТМ	Номер образца	Толщина, мкм	Абсолютная паропроницаемость, г/м^2/24 часа	Относительная паропроницаемость, %	Относительная ошибка опыта (Р=0,95), %
1	1	259,8	4508	51,4	11,2
	4	265,5	4252	48,5	4,5
	19	238,8	4206	48,0	10,0
	20	220,3	4415	50,4	6,3
2	8	283,5	2003	23	7,2
	9	375,7	2232	26,1	8,0
	22	308,8	1617	29,4	4,9
3	10	218,5	3492	30,5	5,5
	11	262,9	3162	33,9	8,6
	12	250,6	3558	35,2	4,2
	13	258,1	3120	34,7	10,2
4	14	186,8	5688	64,9	11,0
	23	201,8	5329	60,8	8,6
5	6	358,8	2804	32,0	9,3
	15	308,4	3558	40,6	6,4
	16	305,2	3190	36,4	5,3
	17	352	2884	32,9	6,7

Примечание: представлено среднее арифметическое значение абсолютной паропроницаемости из 5 опытов по каждому образцу.

Сопоставление результатов исследования паропроницаемости с данными о структуре материалов позволило установить корреляционную зависимость между показателями структуры и свойствами материала [39].

Результат расчета парных коэффициентов корреляции между показателями структуры и паропроницаемостью показал, что наибольшая корреляция исследуемых свойств наблюдается с толщиной материала. Коэффициент корреляции -0,68 указывает на достаточно сильную линейную зависимость паропроницаемости КСТМ от общей толщины материала. Поскольку коэффициент отрицателен, зависимость

Витебский государственный технологический университет

обратная – с увеличением толщины КСТМ его паропроницаемость уменьшается.

Корреляционный анализ влияния доли толщины слоев в общей толщине КСТМ показал, что существует отрицательная корреляционная зависимость между паропроницаемостью и общей толщиной текстильных слоев, а также положительная зависимость между долей толщины гидрофобного мембранного слоя и паропроницаемостью в группе материалов, содержащих такой слой. В случае наличия гидрофильного слоя, корреляционная связь также сильная, но отрицательная. Матрица парных коэффициентов корреляции представлена в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Матрица парных коэффициентов корреляции

Характеристика	Соотношение слоев КСТМ в общей толщине		
	Доля толщины текстильных слоев	Доля толщины гидрофобного слоя мембраны	Доля толщины гидрофильного слоя мембраны
Абсолютная паропроницаемость	-0,64	0,7	-0,60

Таким образом, для обеспечения высоких значений паропроницаемости при проектировании и производстве КСТМ, содержащих мембранный слой, необходимо стремиться к минимизации доли текстильных слоев и доли гидрофильного слоя мембраны в общей толщине КСТМ. Для материалов, содержащих гидрофобный пористый слой, увеличение доли полимерного мембранного слоя в общей толщине композита приводит к увеличению паропроницаемости. По всей вероятности это связано с тем, что в более толстом слое возрастет общая площадь поверхности, обеспечивающая паропроницаемость.

Анализ результатов эксперимента показывает, что в группах материалов, выделенных по принципу общности процесса получения и структуры, наблюдается следующее:

– образцы **типов 1 и 4** демонстрируют высокую относительную паропроницаемость – от 48 % до 65 %. Микроскопия этих материалов показывает, что они имеют развитую поровую структуру мембранного слоя. Наблюдаемый размер пор: мелких – от 1 до 7 мкм, крупных – от 20 до 60 мкм (макропоры);

– в материалах **типа 5** текстильные слои значительно толще мембранного слоя, а поры мембранного слоя на порядок меньше, чем во всех остальных типах – около 1 мкм и менее. Этот тип КСТМ

Витебский государственный технологический университет

характеризуются средним значением относительной паропроницаемости – от 32 % до 40 %;

– образцы **типа 2 и 3** характеризуются более низкими значениями относительной паропроницаемости – от 23 % до 35 %. Микроскопическое исследование позволило установить, что в материалах типа 2 и 3 глубина проникновения мембраны в основу в среднем составляет 40 мкм, как и в материалах типа 1 (в среднем 41,5 мкм). Наблюдаемый размер пор у материалов типа 2 и 3 меньше, чем у материалов типа 1. Вероятно, кроме размера пор, на паропроницаемость КСТМ типа 2 и 3 оказывает влияние наличие гидрофильной монолитной мембраны, сорбирующей влагу.

Исследование паропроницаемости материалов плащевой группы, проведенное для сравнения значений показателей, позволяет утверждать, что паропроницаемость плащевых материалов с пропиткой и пленочным сплошным полиуретановым покрытием ниже, чем у КСТМ всех исследуемых типов. Результаты исследования и их статистическая обработка представлены в таблице 3.14 [54, 55].

Обобщение данных проведенных исследований позволило установить, что паропроницаемость водозащитных материалов, содержащих мембранный полиэфируретановый слой, *возрастает* в ряду: типы 2 и 3, тип 5, типы 1 и 4.

Таблица 3.14 – Результаты исследования паропроницаемости плащевых материалов методом Тейлора

Номер образца	Абсолютная паропроницаемость, г/м^2/24 часа	Относительная паропроницаемость, %	Относительная ошибка опыта (P=0,95), %
24	955	10,9	8,2
25	894	10,2	4,9
26	2007	22,9	5,1
27	1630	18,6	5,3
28	1735	19,8	5,7
29	1481	16,9	4,2
30	1876	21,4	7,6
31	1525	17,4	6,4
32	1183	13,5	4,5
33	1341	15,3	5,3

Примечание: представлено среднее арифметическое значение абсолютной паропроницаемости из 5 опытов по каждому образцу.

При корреляционном анализе результатов исследования влагообменных свойств и паропроницаемости водозащитных материалов было выявлено, что для плащевых материалов с

Витебский государственный технологический университет

водоотталкивающей пропиткой и сплошным полимерным покрытием данные исследований паропроницаемости и относительного влагопереноса положительно коррелируют (коэффициент линейной корреляции $r_к$ = 0,86). А для КСТМ, содержащих мембранный слой, линейная корреляция не наблюдается (коэффициент корреляции $r_к$ = 0,28). Таким образом, показано существенное отличие КСТМ от плащевых материалов: при контакте с капельножидкой влагой проницаемость КСТМ для паров воды изменяется.

Для исследования изменения паропроницаемости мембранных текстильных материалов с течением времени при создании разности концентраций водяных паров по обе стороны испытываемого образца и определения характера изменения паропроницаемости во времени материалов различных структурных типов использовали экспресс-метод сорбента [56].

Этот метод позволяет получать достаточно точные результаты в сравнительно короткий промежуток времени (общее время испытаний – 4 часа). Сущность метода заключается в измерении массы сорбента ($CaCl_2$), находящегося в стаканчиках, закрытых испытываемыми образцами, через определенные промежутки времени. Стаканчики с образцами были установлены в эксикаторе с влажностью 70 % при температуре 20 ^{0}С. Расстояние от поверхности испарения до пробы – 5 мм. По каждому образцу испытания проводились на 5 пробах. Взвешивание стаканчиков производилось с помощью аналитических весов с точностью измерений 0,001 г в следующей последовательности: через 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 минут от начала испытаний. Скорость передачи водяного пара (коэффициент паропроницаемости В, г/м^2·ч) была вычислена по формуле (3.5)

$$B = \frac{M}{s \cdot t}, \qquad (3.4)$$

где M – изменение массы испытательной конструкции (стаканчик с сорбентом + образец) за период испытания, г, s – площадь образца, м^2, t – время между двумя взвешиваниями, ч.

В качестве объектов исследования были выбраны КСТМ бытового назначения с мембранным пористым полиуретановым слоем, полученные методом коагуляции раствора полимера на тканой или трикотажной полиэфирной основе (наносной метод) и методом ламинирования (переносной метод). Характеристика материалов представлена в таблице 3.15.

По результатам вычисления коэффициента паропроницаемости для всех исследуемых образцов были построены графики изменения

Витебский государственный технологический университет

скорости паропроницаемости (коэффициента паропроницаемости) от времени испытания, представленные на рисунке 3.7.

Таблица 3.15 – Характеристика объектов исследования

№ образца (страна-производитель)	Вид основы, сырьевой состав	Способ производства, вид полимера	Поверх-ностная плотность, г/м^2	Толщина, мм
1 (Корея)	тканая, ПЭ	коагуляция (наносной), ПУ	142	0,22
2 (Корея)	тканая, ПЭ	ламинирование (переносной), ПУ	184	0,25
3 (Корея)	трикотаж, ПЭ	коагуляция (наносной), ПУ	179	0,42
4 (Корея)	тканая, ПЭ	коагуляция (наносной), ПУ	181	0,27
5 (Республика Беларусь)	тканая, ПЭ	ламинирование (переносной), ПУ	188	0,27
6 (Республика Беларусь)	тканая, ПЭ	коагуляция (наносной), ПУ	165	0,23

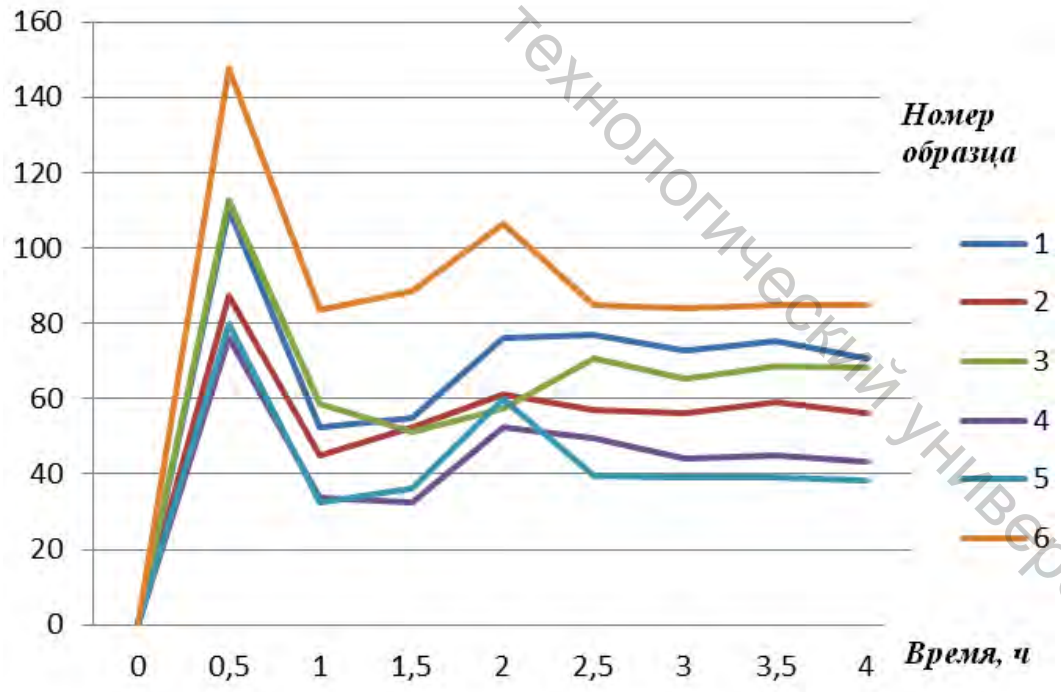


Рисунок 3.7 – Изменение скорости передачи парообразной влаги через образец во времени, г/м^2/ч

Витебский государственный технологический университет

Из анализа полученных результатов эксперимента, представленных на рисунке 3.7, можно сделать следующие выводы:

1. Процесс прохождения парообразной влаги через КСТМ независимо от способа их производства делится на 3 этапа:

– увеличение скорости передачи водяного пара;

– снижение скорости передачи водяного пара;

– установление постоянного уровня скорости передачи водяного пара.

2. Все исследованные материалы показывают высокую скорость передачи водяного пара в течение первого получаса, когда наиболее интенсивен процесс диффузии влаги по толщине материала. Характер изменения скорости во втором получасовом промежутке также одинаков для всех материалов – снижение вследствие накопления влаги в материале. То есть в течение первого получаса испытаний значение коэффициента паропроницаемости достигает максимума.

В начале испытания происходит диффузия паров влаги через сухой образец (увеличение коэффициента паропроницаемости), одновременно возрастает сорбция влаги веществом основы и полимером покрытия, а десорбция пока незначительна, поэтому с течением времени происходит набухание полимера мембраны и основы, закрытие некоторых пор, капиллярная конденсация, а, следовательно, снижение скорости влагопереноса (уменьшение коэффициента паропроницаемости). Спустя 1 час (у некоторых материалов 1.5 часа) после начала испытаний возрастает роль десорбции влаги в среду с пониженной концентрацией водяных паров (второе повышение значения коэффициента на графике), а сорбция влаги достигает некоторого постоянного уровня. В дальнейшем, спустя 2–2.5 часа, диффузия через поры материала, достигшего равновесной влажности, продолжается в установившемся режиме, наблюдается стабилизация влагопереноса, процессы сорбции-десорбции протекают уравновешенно (постоянный уровень коэффициента паропроницаемости). Следовательно, при оценке скорости передачи водяных паров через мембранные текстильные материалы методом сорбента для выявления установившегося значения коэффициента паропроницаемости контрольные взвешивания испытательной конструкции следует проводить не ранее, чем через 2.5 часа после начала испытаний.

3. Более высокие значения установившегося коэффициента паропроницаемости (от 44 до 84 г/м^2·ч) показывают материалы, полученные наносным способом. Значения установившегося коэффициента паропроницаемости для ламинированных материалов находятся в пределах от 39 до 56 г/м^2·ч. Можно предположить, что способ нанесения мембраны на текстильную основу играет роль в обеспечении заданного уровня паропроницаемости при наличии

Витебский государственный технологический университет

градиента концентраций. При переносном методе нанесения мембрана испытывает действие давления и температуры, вследствие чего происходит изменение первоначальной конфигурации и количества сквозных пор, что влияет, в конечном счете, на способность ламинированного материала к транспорту парообразной влаги. Данное обстоятельство может также указывать на преобладание роли диффузии сквозь поры над ролью процессов сорбции-десорбции влаги гидрофильным полимером мембраны.

При нанесении мембраны методом коагуляции раствора полимера с последующим вымыванием солей образуются поры, конфигурация, размер и количество которых можно прогнозировать с определенной точностью. Поэтому уровень паропроницаемости материала, полученного наносным способом, вполне предсказуем.

Наиболее точно воссоздающим условия эксплуатации одежды считается метод определения сопротивления текстильных материалов передаче паров воды, при использовании которого способность пропускать пары воды из пространства под одеждой наружу оценивают показателем Ret. Измеряется Ret в единицах площади материала, расположенного на пористой «потеющей» пластине, через который при определенном перепаде давлений проходят водяные пары, отнесенной к количеству энергии, требуемой для поддержания постоянной температуры пористой «потеющей» пластины ($м^2$·Па/Вт). Моделирование потоотделения в данном методе производится путем подачи воды температурой 35 °С через поры металлической пластины. Перепад давлений создается обдуванием материала воздухом с контролируемыми параметрами. Физический смысл данного показателя – сопротивление материала потоку водяного пара: чем меньше сопротивление, тем лучше свойства паропроницаемости. Этот метод регламентирован стандартами ISO 11092 и EN 31092, он требует специального оборудования, энергоемок, сложен в реализации.

В последнее время все шире для контроля паропроницаемости на текстильных предприятиях применяется метод «перевернутой чаши», результаты которого можно пересчитать в показатель Ret. Этот стандартный метод, регламентируемый ISO 15496:2018, используется как экспресс-тест при контроле качества материалов – он малозатратен, прост в реализации, неэнергоемок. Время проведения испытания – 15 минут. Исследования, результаты которых изложены выше, показывают, что за такой короткий срок сложно оценить паропроницаемость материала. Однако интерес представляет методика перерасчета коэффициента паропроницаемости в единицы сопротивления проникновению паров воды Ret, изложенная в стандарте. Это позволяет по результатам кратковременного испытания сделать выводы о пригодности материала для изготовления одежды, поскольку доказано, что показатель Ret, превышающий 35,1 $м^2$·Па/Вт,

Витебский государственный технологический университет

не обеспечивает достаточную степень вентиляции пространства под одеждой [56].

Для исследования паропроницаемости водозащитных материалов и оценки их пригодности для изготовления одежды с помощью показателя Ret исследовали 5 артикулов КСТМ. Образцы № 1, № 2 и № 3 содержат двухкомпонентную гидрофильно-гидрофобную мембрану и относятся к структурному типу 3. Образцы № 4 и № 5 – представители структурного типа 5 (двухслойные КСТМ, ламинированные гидрофобной пористой мембраной). Использовали испытательный комплект, состоящий из стакана с герметично закрывающейся крышкой-кольцом, двух пластиковых колец, политетрафторэтиленовой мембраны, поддона и нетканого хлопчатобумажного полотна. На рисунке 3.8 показан испытательный комплект «в сборке».

Сущность эксперимента такова: на поддон с деминерализованной водой выкладывали нетканый материал, сверху – кольцо с заправленной политетрафторэтиленовой мембраной, на мембрану – образец исследуемого материала изнаночной стороной вниз. Образец фиксировали меньшим кольцом. Стакан с раствором ацетата калия, герметично закрытый крышкой-кольцом с заправленной в него мембраной, ставили на образец кверху дном. Предварительно стакан взвешивали на аналитических весах. Определяли температуру воздуха. По истечении 15 минут от начала испытания стакан взвешивали вторично. По привесу стакана после испытания определяли значение показателя Ret, используя табличные значения, представленные в источнике [57]. В качестве референсного значения использовали данные «холостого» опыта, который проводили без образца ткани.

Рисунок 3.8 – Подготовка образцов к испытанию по ISO 15496:2018

При расчете показателя Ret использовали формулы (3.6) и (3.7):

Витебский государственный технологический университет

$$\mathrm{Ret} = \frac{\mathrm{Re}\,f}{WVP} \cdot WVP_0 \ , \qquad (3.6)$$

$$WVP = \frac{M_1 - M_2}{S \cdot t \cdot P} \ , \qquad (3.7)$$

где S – площадь отверстия в крышке стакана, S = 0,003848 м^2; (M_1-M_2) – разница между весом стакана с раствором ацетата калия до и после испытания, г; Ref – референсное значение, рассчитанное при заданной температуре воздуха в лаборатории по результатам «холостого опыта» без образца материала, м^2·Па/Вт. При температуре 21 °С получили Ref = 0,683596 м^2·Па/Вт, t – время испытания, ч, t = 0,25 ч, WVP – скорость изменения давления насыщенного пара при температуре опыта, г/м^2·Па·ч, P – давление насыщенного пара при температуре опыта, Па; Ret – сопротивление образца проникновению водяного пара, м^2·Па/Вт. Теплота парообразования для расчета референсного значения принимается равной 0,681 Вт·ч/г в соответствии с табличным значением температуры опыта [57].

Характеристика объектов исследования и результаты эксперимента представлены в таблице 3.16 [58].

Таблица 3.16 – Результаты испытаний КСТМ методом перевернутой чаши

Характеристики материала, единицы измерения	Номер образца				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Состав текстильной основы / мембраны, тип КСТМ	ПЭ/ ПУ, 3	ПЭ/ ПУ, 3	ПЭ/ ПУ, 3	ПЭ/ ПУ, 5	ПЭ/ ПУ, 5
Страна-производитель	РБ	РБ	РБ	Корея	Корея
Поверхностная плотность, г/м^2	132	136	145	134	142
Паропроницаемость, Ret, м^2·Па/Вт	16,2	14,8	10,2	7,5	7,4
Норма, не более, м^2·Па/Вт	35				
Вывод о применимости в одежде: Ret ≤ 5 – отлично, 5,1 ≤ Ret ≤ 20 – хорошо, 20,1 ≤ Ret ≤ 35 – приемлемо, Ret > 35,1 – не допускается	хорошо				

Таким образом, все исследованные образцы могут применяться для изготовления одежды, поскольку результаты исследования паропроницаемости для всех испытанных артикулов попадают в

Витебский государственный технологический университет

диапазон градации комфортности «хорошо». Образцы № 4 и № 5 обладают более низкими значениями показателя Ret и применение их для изготовления одежды предпочтительно с позиции обеспечения комфортных условий микроклимата пространства под одеждой.

Описанный выше экспресс-метод применяется повсеместно для контроля качества мембранных текстильных материалов в процессе их производства и является стандартным во всех странах с развитым текстильным и швейным производством.

3.3.3 Методы и средства определения водонепроницаемости

При наличии значительного количества приборов и методов оценки водозащитных свойств текстильных материалов не существует единой узаконенной их классификации, а также наблюдается отсутствие согласованности в определении терминов. Например, в источнике [59] водонепроницаемость трактуется как способность текстильных материалов противостоять смачиванию и проникновению воды, а в [60] как способность материала не пропускать воду при определенном давлении. Поскольку приборы для определения водонепроницаемости текстильных материалов позволяют проводить испытания только при наличии гидростатического давления, второе определение является более точным. Характеризуется водонепроницаемость наименьшим давлением воды, при котором на противоположной стороне образца становятся заметны следы протекания. Изменяется этот показатель в широких пределах и его нормативное значение может составлять для плащевых и курточных тканей из синтетических нитей с пленочным покрытием в один слой 115 мм в. ст. [61], а для мембранных текстильных материалов – свыше 30 000 мм в. ст. [62].

В нормативной базе оценки водозащитной способности материалов встречается термин **водостойкость** – характеристика, показывающая способность материала к сопротивлению проникновению воды и увлажнению [63]. В данном случае речь идет об оценке устойчивости материалов к воздействию дождя методом горизонтального орошения под давлением.

Методы определения водозащитных свойств материалов **в статических условиях** делятся на несколько подгрупп: методы, основанные на орошении образца водой (дождевании), погружении в воду, сообщении образцу гидростатического давления. В свою очередь, внутри каждой подгруппы существует разделение по способу определения показателя и условиям проведения испытаний. Наиболее широкое применение нашли методы, основанные на создании гидростатического давления на образец.

Витебский государственный технологический университет

Методы, предназначенные для определения водозащитных свойств материалов **в динамических условиях**, дифференцированы в зависимости от назначения материала. Это связано с существенными различиями условий эксплуатации материалов. Однако существуют определенные сложности в сопоставлении результатов испытаний в динамических условиях, выполненных при различных сочетаниях параметров испытаний, что говорит о необходимости обосновывать выбор оптимальных значений параметров для получения результатов, коррелирующих с поведением материалов в заданных условиях эксплуатации.

Все методы определения показателей водозащитных свойств материалов могут быть **универсальными**, обеспечивающими возможность определения сразу нескольких показателей, или **специализированными**, то есть ориентированными на определение одного показателя. Универсальные методы предпочтительнее ввиду экономичности [64].

Сегодня большое внимание уделяется гармонизации отечественных и европейских стандартов, поэтому при выборе метода оценки водозащитных свойств материалов необходимо ориентироваться на стандарты с высоким уровнем гармонизации. Это будет способствовать ликвидации технических барьеров в торговле, международному обмену товарами, повышению технического уровня и качества выпускаемой продукции для непосредственной пользы потребителя. В таблице 3.17 представлена классификация методов определения водозащитных свойств материалов, разработанная авторами монографии в трех иерархических уровнях [65, 66] в зависимости от условий проведения испытаний.

Существование множества показателей водозащитных свойств и неоднозначность подхода к их определению обусловлены разнообразием процессов взаимодействия воды с коллоидными капиллярно-пористыми телами, какими являются текстильные материалы, и сложностью оценки условий эксплуатации одежды. Некоторые материалы могут удерживать влагу в капиллярах, пропитываться ею, но при определенных условиях не пропускать через себя, а при нарушении этих условий – утрачивать водозащитные свойства. Другие плохо смачиваются, однако пропускают жидкую влагу под давлением. В процессе эксплуатации (и в зависимости от её условий) одежные материалы испытывают различные кратковременные или длительные воздействия.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 3.17 – Классификация методов определения водозащитных свойств материалов

Признак	Группа методов	Признак	Подгруппа методов	Признак	Характеристика метода	
уровень 1		уровень 2		уровень 3		
Условия проведения испытаний	с образцом в статических условиях	характер воздействия на пробу	орошения	направление струй воды	вертикальное	
					горизонтальное	
				положение образца	перпендикулярно направлению орошения	
					под углом к направлению орошения	
			гидростатического давления	режим нагружения	статический	с постоянным низким давлением
						с постоянным высоким давлением
					динамический	с переменным низким давлением
						с переменным высоким давлением
	с образцом в динамических условиях	степень приближения к условиям эксплуатации	приближенные к условиям эксплуатации	комбинация воздействий	орошение + многократная деформация кручения, растяжения, сжатия	
					орошение + направленный поток воздуха + температурные перепады	
			воссоздающие критические условия эксплуатации	опытная носка в максимально неблагоприятных погодных условиях		

Витебский государственный технологический университет

На материалы в процессе их эксплуатации по назначению действуют: низкое или высокое давление, направленное изнутри или снаружи изделия, в сочетании с различной интенсивности орошением, погружением или контактом с водой. Очевидно, что требуемый уровень водозащитных свойств материалов будет различаться для плаща и для штормовки, предназначенной для туристических походов. Поэтому при оценке водозащитных свойств материалов должен быть выбран метод, моделирующий условия эксплуатации, либо обеспечивающий определение показателя, информативность которого для данных условий эксплуатации доказана.

Для оценки водозащитных свойств одежных материалов при сообщении им гидростатического давления применяют различные методы: при заданном давлении воды на образец определяют момент промокания, в условиях возрастающего с определенной скоростью давления определяют ту его величину, при которой произошло промокание образца. Эти методы позволяют оценить водозащитные свойства материала в довольно жестких условиях, поскольку при воздействии на образец повышенного гидростатического давления происходит деформация материала, его многоосное растяжение, сопровождающееся структурными изменениями. Наименьшее давление создается при использовании метода кошеля, при котором вода наливается на определенную высоту в сформированный в виде кошеля исследуемый материал. В этом случае определяют время, прошедшее с начала испытания до обнаружения признаков протекания. Недостатками метода кошеля является длительность проведения опыта, большие размеры образца, субъективность оценки результата, отсутствие механизма фиксирования момента промокания и связанную с этим трудоемкость проведения испытаний. Тем не менее простота конструкции рамки для образования кошеля и минимум требований к условиям проведения опыта делают этот метод доступным. Метод кошеля стандартизован для оценки плащевых и курточных материалов.

Метод пенетрометра позволяет создавать несколько большее гидростатическое давление на образец и является стандартным для оценки водоупорности брезентов, палаточных полотен, полотен со специальными водоотталкивающими пропитками. Сущность метода такова: воду заливают в цилиндр, регулирующим краном устанавливают определенную скорость истечения воды из цилиндра, проверяют ее по скорости подъема уровня воды в трубке манометра. Пробу закрепляют кольцевым зажимом. После этого открывают кран, и давление воды на пробу увеличивается. При появлении третьей капли на наружной стороне пробы фиксируют давление в паскалях по манометру, а кран закрывают. Этот метод регламентируется гармонизированным международным стандартом, его недостатком является ограниченность величины давления, сообщаемого образцу,

Витебский государственный технологический университет

конструкцией прибора. Поэтому использование метода пенетрометра для констатации высокого уровня защиты от воды неприемлемо.

Для одежных материалов методы, проводимые в статических условиях, являются основными стандартизованными методами. Методы, в которых предусматривается **орошение** образцов водой, позволяют определять водоотталкивание, водоупорность, намокаемость [67]. Они универсальны, но некоторые из них требуют наличия сложных лабораторных установок. Дождевальная установка имитирует падение дождевых капель на испытуемый образец, укрепленный на специальной рамке или сосуде. Скорость и размер капель падающей воды регулируется высотой подъема сосуда с водой, его наполненностью, видом специальных воронок. Рамка с образцом может быть неподвижной, совершать вращательные движения, или располагаться под различными углами к направлению орошения. Особенность методов орошения в том, что они создают нежесткие условия испытаний. Исключение составляет метод орошения под давлением (горизонтального дождевания), изложенный в ГОСТ Р ИСО 22958-2011 [63].

Применение методов, обеспечивающих статические условия испытаний, возможно для сравнения свойств материалов, предлагаемых к использованию, когда известны значения показателей, обеспечивающих удовлетворительную защиту от влаги.

Для приближения условий испытаний к условиям эксплуатации материалов разработаны **динамические** методы. Они заключаются в сообщении исследуемому образцу, контактирующему с водой, многократного растяжения, сжатия, кручения и фиксировании момента промокания, а также количества воды, прошедшей через промокший образец за определенное время. Для текстильных материалов применение таких методов дает возможность прогнозирования их поведения в эксплуатационных условиях. Являясь универсальными, эти методы позволяют оценивать водозащитные свойства материалов по комплексу показателей. Сложность заключается в установлении таких режимов нагружения образцов, которые позволят выявить характер и динамику промокания. К сожалению, различия в пористости, способности к набуханию, степени гидрофобности и других свойствах материалов не позволяют устанавливать одинаковые режимы при их исследовании.

На сегодняшний день стандартизованные методы испытания материалов для одежды в динамических условиях не получили широкого распространения. Эти методы разрабатываются производителями спортивной и туристической экипировки, обеспечивающей высокий уровень защиты от воды. В качестве образцов используют готовое изделие или образцы цилиндрической формы. Целью таких методов является прогнозирование эксплуатационных

Витебский государственный технологический университет

свойств материалов и демонстрация качества изготовления одежды (в первую очередь – герметичности соединений).

Методы создания гидростатического давления на образец шире других представлены в международных многосторонних гармонизированных стандартах и могут быть рекомендованы для оценки водозащитной способности материалов.

В таблице 3.18 представлены основные стандарты, регламентирующие методы оценки водозащитной способности материалов в статических условиях, с указанием максимального гидростатического давления, обеспечиваемого средствами испытаний, и уровня и степени гармонизации.

Таблица 3.18 – Перечень стандартов, регламентирующих методы оценки водозащитной способности материалов в статических условиях

Номер стандарта	Максимальное давление, мм в. ст. / КПа	Уровень и степень гармонизации стандарта
DIN EN ISO 20811	1530 / 15	международный многосторонний
DIN EN ISO 20812	10200 / 100	международный многосторонний
DIN EN ISO 20813	20400 / 200	международный многосторонний
JIS L 1092 B	30000 / 294	региональный
AATCC 127	10000 / 98	региональный
ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81)	1200 / 11	идентичный международному многостороннему
ГОСТ 22944-78	1200 / 11	региональный
ГОСТ Р ИСО 22958-2011	1800 / 17	идентичный международному многостороннему
ГОСТ Р 51553-99 (EN 20811)	1530 / 15	идентичный международному многостороннему
ГОСТ 413-91 (идентичный ИСО 1420-87)	70000 / 686	идентичный международному многостороннему

Испытания по ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81) [67] осуществляются на гидростатическом приборе, позволяющем зажимать образец материала таким образом, чтобы он не скользил в зажимах, располагался горизонтально и не выпукло, а протекание воды у зажимов исключалось. Используется динамический режим нагружения образцов. Скорость увеличения давления должна быть постоянной. Температура

Витебский государственный технологический университет

воды, используемой для испытания, должна составлять либо 20±20 °С, либо 27±20 °С. Климатические условия проведения испытаний жестко не регламентируются, но должны быть указаны в протоколе испытаний.

Согласно требованиям стандарта [67], должна обеспечиваться соответствующая величине давления точность показаний манометра гидростатического прибора:

– до 1000 мм в. ст. точность считывания давления – 5 мм в. ст.;

– от 1000 мм в. ст. до 2000 мм в. ст. – 10 мм в. ст.;

– свыше 2000 мм в. ст. – 20 мм в. ст.

Настоящий стандарт распространяется на тканые, трикотажные и нетканые полотна, текстильно-галантерейные и штучные изделия из волокон и нитей всех видов, кроме материалов с покрытием и стеклоткани.

Стандартизованные методы и средства, позволяющие определять водонепроницаемость материалов при действии на них высокого гидростатического давления, представлены в таблице 3.19.

В отличие от межгосударственного стандарта ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81) методика испытания, изложенная в стандарте ГОСТ Р 51553-99 [68], допускает возможность изменения размеров образца и распространяется на любые текстильные материалы. Кроме того, ГОСТ Р 51553-99 является аутентичным переводом регионального стандарта EN 20811-92. Методики по ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81) и ГОСТ Р 51553-99 допускают проведение испытаний без вырезания образцов.

Методика испытаний по ГОСТ 28486-90 [16], который распространяется на ткани из синтетических нитей, предназначенные для пошива одежды, несколько отличается от стандартных методик, изложенных выше. В частности, не регламентируется значение температуры воды; скорость подъема давления в десять раз выше по сравнению с методикой определения водонепроницаемости по ГОСТ 3816-81[67]; используется больший размер образца; не допускается проведение испытания без вырезания образцов; отсутствуют требования по расположению образца в зажимах прибора. Данной методикой достаточно часто пользуются в Республике Беларусь при контроле качества плащевых и курточных материалов, к которым причисляют и мембранные текстильные материалы.

В соответствии с ГОСТ 413-91 (ISO 1420-87) [69], который распространяется на ткани с резиновым или пластмассовым покрытием, метод высокого гидростатического давления реализуется в рамках двух методик. Методика Б1 позволяет использовать динамический режим нагружения, методика Б2 – статический. Методика Б1 имеет следующие отличия от рассмотренных выше методик: меньший размер образца (7,8 см^2 против 100 см^2); отсутствие требований к скорости увеличения давления (указано лишь то, что скорость должна быть постоянной); отсутствие требований по значению температуры воды (должна быть

Витебский государственный технологический университет

такой же, как температура окружающего воздуха); оценка результатов испытания проводится в момент появления первой капли воды на поверхности образца, а не трех капель.

Таблица 3.19 – Стандартные методы и средства определения водонепроницаемости текстильных материалов

Номер стандарта		Максимальное давление, мм в. ст. (МПа)	Скорость увеличения давления, мм в. ст. / мин	Размеры образца, см^2	Оценка результата испытаний
ГОСТ Р 51553-94		ограничено конструкцией прибора	100±5; 600± 30	рабочий: 100 (допускается меньше)	наибольшее давление до появления 3 капель воды с противоположной стороны образца
ГОСТ 3816-81 (ISO 811)			100±5 или 600±30	рабочий: 100±5	
ГОСТ 28486-90			1000 ±100	общий: 400 рабочий – обусловлен конструкцией прибора	наибольшее давление до появления 3 капель
ГОСТ 413-91 (ISO 1420-87)	Б1	70 000 (0,69)	любая постоянная скорость	рабочий: 7,8	наибольшее давление до появления первой капли воды
	Б2	по требованию НТД на материал	–		отсутствие любых признаков протекания после 5 испытаний одного образца по 5 минут
ГОСТ Р ИСО 17230-2015		6 600 (0,065)	300 ± 30	рабочий: 12,6	наибольшее давление до появления 3 капель воды с противоположной стороны образца

Витебский государственный технологический университет

Методика Б2, позволяющая определять водонепроницаемость материалов с резиновым или пластмассовым покрытием в статическом режиме нагружения, предполагает подачу гидростатического давления определенной величины на образец материала и наблюдение за поведением нагруженного образца в течение 5 минут. Образец нагружают и разгружают таким способом 5 раз. Любое проникновение воды на противоположную сторону материала в течение испытания считается признаком отсутствия водонепроницаемости образца. Указанная методика применяется для оценки качества водозащитных материалов, условия эксплуатации которых предполагают довольно длительное воздействие гидростатического давления: укрывных, тентовых, палаточных материалов.

Конструкция измерительной ячейки, описанная в стандарте ГОСТ 413-91 (ISO 1420-87), предполагает свободный прогиб образца в направлении, совпадающем с направлением приложенного давления. В результате повышения давления образец растягивается, изменяется его структура, появляются микротрещины, наступает разрушение образца. Проникание воды сквозь материал происходит вследствие появления микротрещин покрытия, либо нарушения структуры материала. В этом случае нельзя утверждать, что произошло проникание воды сквозь исследуемый материал, так как дефекты в структуре материала образовались за счет несовершенства конструкции испытательной аппаратуры. Этот стандарт не предусматривает способ повышения давления в измерительной ячейке, но подавляющее большинство приборов, позволяющих проводить испытания по данному нормативному документу, снабжены компрессором, требующим подключения к электросети, обладающим значительным весом и габаритами.

Единственный стандарт, строго регламентирующий недопущение прогиба образца при испытании, – ГОСТ Р ИСО 17230-2015 [70], в котором предусмотрено применение жесткой проволочной сетки, накладываемой на образец.

Характерной особенностью рассмотренных методик является их «привязка» к конкретным видам материалов, что создаёт определенные трудности при принятии решения о применении той или иной методики в каждом конкретном случае. Так, при определении водонепроницаемости плащевых и курточных материалов, к которым в Республике Беларусь относят композиционные слоистые мембранные материалы, пользуются либо ГОСТ 3816-81(ISO 811-81), либо ГОСТ 28486-90. Однако конструкция приборов, используемых в указанных методиках, не соответствует свойствам КСТМ по максимальному уровню создаваемого гидростатического давления, поскольку вследствие большой рабочей площади образца происходит протекание воды в зажимах приборов при подаче высокого гидростатического

Витебский государственный технологический университет

давления. Этот недостаток можно было бы устранить, но в методиках заложена жесткая регламентация рабочих размеров образца. Хорошую герметичность при высоком гидростатическом давлении обеспечивает малый размер образца, регламентируемый ГОСТ 413-91, однако эта методика не может быть использована для материалов, не являющихся материалами с резиновым или пластмассовым покрытием.

Большую роль в обеспечении тех или иных стандартных условий испытания играют приборы, используемые для исследования водонепроницаемости. Приборы для определения водонепроницаемости текстильных материалов содержат следующие конструктивно различные основные узлы:

– узел зажима образца,

– узел подачи и поддержания давления,

– устройство регистрации давления,

– измерительную ячейку, в которой создается гидростатическое давление.

Рабочая площадь образца, а, следовательно, и диаметр узла зажима образца в приборе для определения водонепроницаемости тем меньше, чем шире диапазон гидростатического давления, обеспечиваемый прибором.

В зависимости от конструкции узла подачи и поддержания давления различают следующие типы приборов:

– пенетрометры, в которых гидростатическое давление создается изменением положения емкости с водой относительно сообщающейся с ней измерительной ячейки;

– гидростатические приборы с воздушным компрессором, где используется давление воздуха на воду, находящуюся в измерительной ячейке;

– универсальные приборы, сочетающие в своем конструктивном решении оба вышеописанных принципа создания гидростатического давления.

Соответственно конструктивным особенностям узла подачи и поддержания давления для регистрации давления используется либо шкала с миллиметровыми делениями (пенетрометры), либо манометры различных типов (гидростатические приборы).

К группе пенетрометров можно отнести приборы марки QS-317 фирмы Cometech (Тайвань) и МТ-158 фирмы «Метротекс» (Россия). Эти несложные механизмы представляют собой измерительную ячейку цилиндрической формы с кольцевым зажимом для исследуемого образца, соединенную через резиновую трубку с емкостью для воды. Внутренний диаметр кольцевого зажима обеспечивает рабочие размеры образца – 100 см^2. Емкость для воды устанавливается на направляющие и перемещается вверх относительно измерительной ячейки. Давление в системе поднимается за счет перемещения емкости с водой,

Витебский государственный технологический университет

максимальная его величина ограничена высотой направляющих и составляет для прибора QS-317-180 1800 мм в. ст., для QS-317-350 – 3500 мм в. ст., а для МТ-158 – 1200 мм в. ст. [71, 72]. Пенетрометры могут быть снабжены устройствами регулирования скорости увеличения давления.

Достоинства этих приборов – простота, ремонтопригодность, малая энергоемкость. Недостатки – низкое значение максимального регистрируемого гидростатического давления, визуальная регистрация момента проникания воды через материал, большие габаритные размеры, значительный вес (10 кг – для МТ-158, 300 кг – для QS-317-350).

Вторая группа приборов наиболее многочисленна и представлена конструкциями типа МТ-167 фирмы «Метротекс», UGT-7046-HS фирмы UGNlab Co. Ltd., внешний вид гидростатического прибора с компрессором представлен на рисунке 3.9. Зажимное устройство гидростатических приборов выполнено также в виде кольцевых зажимов с внутренним диаметром, обеспечивающим рабочие размеры образца 100 см^2. Максимальная величина регистрируемого давления – 2000 мм в. ст. для МТ-167 и 20 000 мм в. ст. для UGT-7046-HS. Прибор МТ-167 работает в двух скоростных режимах увеличения давления – 100±5 или 600±30 мм в. ст. /мин, а при работе на приборе UGT-7046-HS скорость можно установить произвольно [73].

Достоинствами приборов второго типа является надежность, универсальность в обеспечении условий различных стандартов, недостатками – энергоемкость, значительный вес (128 кг, 50 кг), прогиб образца в зажимном устройстве при высоких значениях гидростатического давления и визуальная регистрация момента проникания воды через материал.

Рисунок 3.9 – Внешний вид прибора UGT-7046-HS

Витебский государственный технологический университет

Среди гидростатических приборов определенный интерес представляют малогабаритные приборы с ручным механизмом повышения давления. Такие приборы удобны тем, что не занимают много места, не требуют подключения к электросети, просты в обслуживании. На рисунке 3.10 представлен прибор фирмы Quailitest, который весит всего 5,9 кг и позволяет создавать в системе и регистрировать давление до 10000 мм в. ст. Для проведения испытаний различных по уровню водозащитных свойств материалов конструкцией прибора предусмотрены два манометра с различной ценой деления шкалы [72].

Универсальные приборы характеризуются наличием сменных деталей основных конструктивных узлов, соответствующих требованиям различных стандартов. Такие приборы дороги и габаритны: средняя стоимость одного универсального прибора около 25 тысяч евро [72, 73].

Рисунок 3.10 – Внешний вид малогабаритного прибора Suter tester

Современные приборы для определения водонепроницаемости текстильных материалов различаются количеством стандартных методов, соответствие которым обеспечивают, величиной минимального и максимального гидростатического давления, возможностью регулирования скорости подачи давления, весом и габаритами. Характеристика некоторых приборов для оценки

Витебский государственный технологический университет

водозащитной способности текстильных материалов представлена в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Характеристика приборов, применяемых для оценки водозащитной способности текстильных материалов

Марка прибора / изготовитель	Техническая характеристика	Перечень поддерживаемых стандартов
UGT – 7046 – HS / UGNlab Co. Ltd	максимальное давление – 196 КПа, скорость – регулируется, вес – 128 кг	JIS L 1092; DIN 53 886; ГОСТ 12.4.263-2014
UM-3241C / UGNlab Co. Ltd	максимальное давление – 100 КПа, скорость – 0,98 КПа /с или 5,9 КПа /с, вес – 50 кг	ГОСТ Р 51553; EN 20811; DIN 53886; ГОСТ 12.4.263-2014
Suter tester / Quailitest	максимальное давление – 98 КПа, скорость регулируется, вес – 5,9 кг	AATCC 127; ГОСТ 12.4.263-2014
МТ-167 / Метротекс	максимальное давление – 19,6 КПа, скорость – 0,59; 0,98; 5,9 КПа /с	ГОСТ 3816; ИСО 811; ГОСТ 12.4.263-2014
МТ-158 / Метротекс	максимальное давление – 11,8 КПа, вес – 10 кг	ГОСТ 3816; ГОСТ 12.4.263-2014
DVT TSG / Devotrans	диапазон давления: 100–200 КПа; скорость изменения давления регулируется вручную	ISO 811;EN ISO 20811; DIN 52123; EN 1734;EN 1928; ГОСТ 12.4.263-2014
RF4408P Hydrostatic Head Tester / RefondTex	диапазон давления: 0–300 КПа; скорость изменения давления регулируется. Сменные испытательные головки. Два режима испытаний – динамический и статический, вес –75 кг	AATCC 127; BS EN 20811; BS 3424-26 (29A, 29C); BS 3321; ERT120-2-02; GB/T 4744; JIS L1092A; ERT 120-1; ERT 160-0; BS 3321; JIS L1092; BS EN 20811; ASTM D751; WSP 080.6.R4; IST 080.6 (01); IST 080.4 (01); ГОСТ 12.4.263-2014

Метод определения показателей водозащитной способности материалов должен в определенной степени приближаться к условиям эксплуатации изделий из них, а показатели – выбираться, исходя из этих условий. Поэтому выбор метода основывается на целях проводимой оценки:

Витебский государственный технологический университет

– сравнение свойств однотипных материалов для выявления наилучшего;

– моделирование условий эксплуатации для определения приоритетного вида материала или констатации пригодности (непригодности) испытуемого образца для заданных условий.

Используя классификацию методов определения водозащитной способности материалов (табл. 3.17), в первом случае следует выбирать методы испытаний в статических условиях, во втором – в динамических. А затем в выбранной группе методов останавливаться на том, который обеспечивает регистрацию нужного уровня защиты от воды, либо наиболее близок к условиям эксплуатации изделия, выполненного из исследуемого материала.

Как видно из таблицы 3.20, широта модельного ряда приборов для определения водонепроницаемости связана с различиями стандартных методик не по принципу определения показателя, а по условиям испытаний. В первую очередь это касается размера испытательной ячейки. Например, только ГОСТ 12.4.263-2014 [74] регламентирует четыре различных диаметра испытательной ячейки для восьми различных методов: 100 мм, 116 мм, 31,5 мм, 35,6 мм. Второй причиной разнообразия приборов являются различия в регламентируемой скорости подачи давления. Преодоление этих препятствий на пути к увеличению степени универсальности приборов технически возможно при использовании сменных испытательных головок и обеспечении автоматической регулировки скорости подачи давления.

Наибольшую универсальность прибора заявляют производители RF4408P Hydrostatic Head Tester, который благодаря наличию сменных испытательных головок может реализовать условия испытаний в соответствии с 15 стандартами, в том числе отечественными, стандартами Великобритании, Германии, Японии, США. В отличие от других рассмотренных приборов, он позволяет проводить испытания в более широком диапазоне давлений, который включает большинство возможных для текстильных материалов значений измеряемой величины.

Традиционно методы и средства определения показателей свойств материалов, зафиксированные в стандартах, разделяются по виду материала (текстильное полотно, кожа натуральная или искусственная и т. д.). Создание новых материалов с высоким уровнем водозащитных свойств приводит к тому, что метод определения показателей этих свойств подбирается скорее по принципу технической возможности регистрации значений показателя, чем по назначению или волокнистому составу материала. Такое разделение характерно для методов, применяемых за рубежом: например, стандарты, используемые институтом исследования текстильных материалов «Хохенштайн» для оценки водозащитной способности текстильных материалов,

Витебский государственный технологический университет

различаются по максимальному давлению воды на испытуемый образец, обеспечиваемому средствами определения показателя:

DIN EN ISO 20811 – до 150 мбар;

DIN EN ISO 20812 – до 1000 мбар;

DIN EN ISO 20813 – до 2000 мбар.

Японский стандарт, регламентирующий испытания материалов гидростатическим давлением, также предлагает группировку методов по максимальному давлению:

JIS L 1092 A – до 2000 мм вод. ст. (до 196 мбар);

JIS L 1092 B – до 30000 мм вод. ст. (до 2942 мбар).

Для специальной одежды для защиты от воды существуют нормированные значения выдерживаемого материалом до промокания гидростатического давления [74]: для водоотталкивающей одежды: 2000–3500 Па (204–357 мм в. ст. или 20–35 мбар); для водоупорной: 3501–7000 Па (358–714 мм в. ст. или 35–70 мбар); для водонепроницаемой: свыше 7000 Па (свыше 714 мм в. ст. или более 70 мбар.

Нетрудно заметить, что значения показателей для европейских и отечественных стандартов различаются на порядок.

Анализ нормативной базы оценки водозащитной способности материалов показал, что существующие нормативные документы регламентируют проведение испытаний различными методами, многие из которых являются трудоемкими или связаны с использованием сложного оборудования с ограниченной возможностью регистрации высоких значений гидростатического давления и больших образцов материалов.

Применяемые для оценки водозащитной способности КСТМ международные стандарты перечислены ниже [50]:

– методы орошения вертикальными струями воды для определения показателя водоотталкивания (water repellency: spray test): AATCC TM 22, ISO 9865; AATCC TM 35;

– методы орошения горизонтальными струями воды для определения показателя водостойкости (water resistance. Rain tests: exposure to a horizontal water): ISO 22958:2005;

– метод, воссоздающий условия эксплуатации для готовой одежды: EN 14360;

– методы гидростатического давления для определения водонепроницаемости (waterproofness, hydrostatic pressure test) : AATCC TM 42; ASTM D 3393-91; AATCC TM 127; ISO 811; BS 3424-26 (29A, 29B, 29C, 29D).

Сравнительный анализ отечественных и зарубежных стандартных методов оценки водонепроницаемости текстильных материалов показывает, что существует диапазон давлений, в котором большинством отечественных стандартов проведение испытаний не

Витебский государственный технологический университет

предусматривается. Однако есть группа материалов, широко и давно использующаяся для изготовления изделий с высоким уровнем защиты от атмосферных осадков в условиях активной эксплуатации. Это мембранные текстильные материалы. По данным В. И. Стельмашенко водонепроницаемость таких материалов колеблется в пределах от 1500 мм в. ст. до 80 000 мм в. ст. [13]. Только ГОСТ 413-91 в части методов Б1 и Б2 (высокого давления – малого образца) удовлетворяет условиям испытаний, обеспечивающим высокое гидростатическое давление. Зарубежные стандарты, напротив, большей частью ориентированы на создание высокого давления при испытаниях текстильных материалов на водонепроницаемость. Это связано, прежде всего, с отсутствием мембранных текстильных материалов на отечественном рынке в объемах, сопоставимых с другими водозащитными материалами.

Таким образом, при всем разнообразии средств исследования водонепроницаемости текстильных материалов, большинство из них являются массивными, энергоемкими и дорогостоящими. Зажимное устройство многих приборов не обеспечивает горизонтального положения материала при испытании, материал при повышении давления выпучивается, как показано на рисунке 3.11, его структура нарушается, образуются микротрещины и разрывы водозащитного слоя.

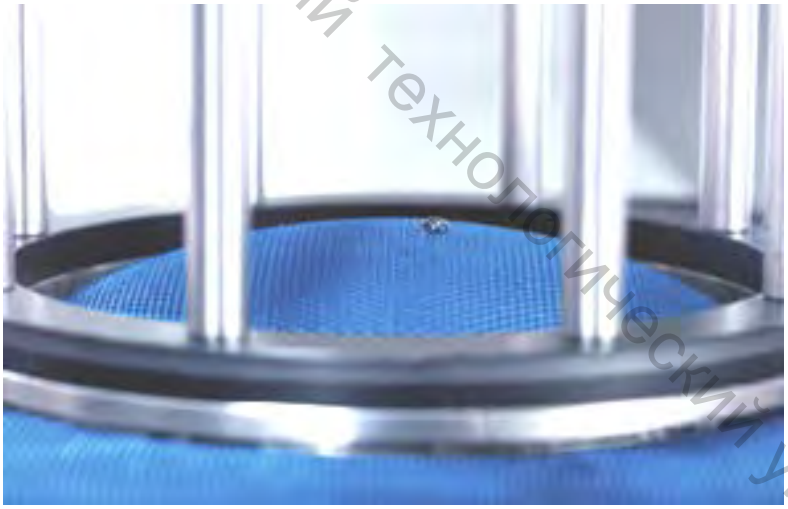


Рисунок 3.11 – Внешний вид образца материала при проведении испытания на водонепроницаемость методом высокого гидростатического давления

Поэтому при использовании приборов с большой рабочей площадью образца водонепроницаемость материала нарушается не только под действием гидростатического давления, но и в силу возникающих в структуре материала напряжений, вызванных его деформацией при прогибе. Кроме того, у большинства приборов

Витебский государственный технологический университет

отсутствует автоматическая регистрация проникания воды через материал [65].

Теперь, когда методы исследования гигиенических свойств КСТМ освещены и проанализированы, необходимо определить значения показателей гигиенических свойств наилучших образцов КСТМ, содержащих полиэфируретановую мембрану, представленные в открытом доступе. В таблице 3.21 показаны результаты исследования КСТМ фирмы ASFgroup (Франция-Германия-США) [75].

Таблица 3.21 – Характеристика КСТМ фирмы ASFgroup

Наименование КСТМ	Тип	Водонепроницаемость, мм в. ст.	Паропроницаемость, г/м^2/24 ч
Eclipse SP	1	2000	l0 000 A1
Eclipse EP	1	5000	9000 A1
Eclipse EPX	1	10000	8000 A1
Eclipse twin sensor EPXDL	5пор	10000	10 000 A1
Eclipse HP	1	15000	6000 A1
Eclipse twin sensor HMX	5пор	20000	8000 A1
Eclipse EP54	1	5000	5000 A1
Eclipse ceramic EP+C	1+к	6000	9000 A1
Eclipse ceramic HP+C	1+к	17000	6000 A1
Eclipse / Barrier Tech Coating BTC	1	5000	10000 A1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL ML 55	5мон	5000	5000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL 15	5мон	10000	6000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL ML11	5мон	10000	10000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL ML21	5мон	20000	10000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL 25	5мон	10000	15000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L DN	5мон	20000	30000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L TY	5мон	20000	30000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L K	5мон	20000	25000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L K XB	5 ком	20000	35000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L OV	5мон	20000	30000 B1
Eclipse / 2L ceramic OV + C	5мон	20000	30000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L HM	5мон	20000	20000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2L BTL HL	5пор	20000	25000 B1
Eclipse / Barrier Tech 2,5 L TN	3ком	20000	15000 B1
Eclipse / Barrier Tech 3L DN	5мон	20000	4000 A1 20000 B1
Eclipse / Barrier Tech 3L TY	5мон	25000	4000 A1 20000 B1
Eclipse / Barrier Tech 3L K	5мон	30000	20000 B1
Eclipse / Barrier Tech 3L KXB	5 ком	30000	30000 B 1

Витебский государственный технологический университет

В таблице 3.21 использованы обозначения структурных типов КСТМ согласно разработанной классификации (таблица 1.2 ГЛАВА 1 монографии) и следующие индексы для обозначения структурных особенностей КСТМ: пор – пористый мембранный слой; мон – монолитный мембранный слой; +к – модификация поверхности мембранного слоя керамическими частицами; ком – комбинированный двухкомпонентный мембранный слой.

Использовались методы испытаний согласно JIS L 1092 B (водонепроницаемость), JIS L 1099 A1 и B1 (паропроницаемость). Информация об используемом методе указана рядом со значением показателя.

Анализ данных таблицы 3.21 позволяет судить о свойствах современных КСТМ. Так, мембранные текстильные материалы типа 1, полученные наносным способом, обладают относительно невысокими значениями водонепроницаемости и высоким уровнем паропроницаемости, а модификация поверхности мембранного слоя керамическими частицами позволяет повысить уровень их гигиенических свойств. Паропроницаемость материалов типа 1 в анализируемом исследовании определена методом вертикально стоящей чаши при температуре воздуха 40 °С с использованием десиканта при прослойке воздуха между образцом и десикантом 14 мм. КСТМ структурного типа 5 показывают высокий уровень водонепроницаемости, при этом паропроницаемость этих материалов определена другим методом, обеспечивающим более высокие значения показателей. Производитель намеренно использовал другой метод, поскольку для ламинированных КСТМ, содержащих монолитный гидрофильный мембранный слой, более актуален метод перевернутой чаши, где влага, образец и десикант не разделены прослойкой воздуха, благодаря чему монолитные гидрофильные мембраны транспортируют водяной пар лучше по механизму сорбции-диффузии-десорбции. Применение метода вертикально стоящей чаши дало бы низкие значения показателя паропроницаемости, как показано для образцов Eclipse / Barrier Tech 3L DN и Eclipse / Barrier Tech 3L TY.

Двухкомпонентные комбинированные мембраны, внедренные в состав КСТМ переносным способом (ламинаты), обеспечивают композиту чрезвычайно высокий уровень гигиенических свойств, поскольку сочетают оба механизма переноса влаги и содержат монолитный водонепроницаемый слой. Наиболее высоким уровнем водонепроницаемости обладают КСТМ, полученные переносным способом (тип 5 и тип 3). Нельзя утверждать, что свойства КСТМ одного способа получения и структурного типа одинаковы, но общая тенденция просматривается.

Подводя итоги выполненного анализа условий эксплуатации мембранных текстильных материалов различных способов получения,

Витебский государственный технологический университет

методов и средств определения показателей их гигиенических свойств и результатов исследования можно отметить следующее.

Условия эксплуатации КСТМ таковы, что определяющими качество материалов показателями гигиенических свойств являются паропроницаемость, влагопоглощение, характеристики влагообменных свойств, водоотталкивание, водонепроницаемость, воздухопроницаемость и стабильность уровня этих показателей в процессе эксплуатации.

В результате анализа методов и средств определения паропроницаемости мембранных текстильных материалов показана сложность измерения показателя, зависимость его фактических значений от условий опыта и неоднозначность интерпретации результатов. По данным производителей КСТМ установлено, что для материалов, содержащих пористый мембранный слой, целесообразно использовать метод вертикально стоящей чаши, а для материалов, содержащих монолитный мембранный слой, – метод перевернутой чаши. Значения показателей паропроницаемости лучших современных КСТМ, определенные этими методами, лежат в диапазоне 5000–10 000 г/м^2/24 ч для материалов с поровыми мембранами и в пределах 10000–30 000 г/м^2/24 ч для КСТМ с монолитной мембраной. Для сравнения величин достаточно указать, что в «холостом» опыте при испарении воды (температура 21 °С) методом перевернутой чаши получено значение коэффициента паропроницаемости 98683 г/м^2/24 ч.

Сопоставлять результаты исследований, проведенных разными методами, нельзя из-за существенных отличий условий испытания. Адекватные условиям эксплуатации результаты дает сложный в техническом исполнении метод определения сопротивления испарению, известный как «метод потеющей пластины». При использовании этого метода результаты исследований КСТМ различных структурных типов могут быть сопоставлены между собой и с рекомендациями по применимости материалов для одежды в зависимости от значения показателя сопротивления испарению RET. Для контроля качества КСТМ в процессе производства во всем мире широко используют регламентируемый международным стандартом ISO 15496:2018 экспресс-метод исследования паропроницаемости и пересчета показателя коэффициента паропроницаемости, определенного методом перевернутой чаши, в показатель сопротивления испарению RET.

По результатам исследования гигиенических свойств КСТМ установлено влияние параметров структуры на влагообменные характеристики КСТМ. Доказана линейная корреляционная зависимость между толщиной КСТМ и паропроницаемостью, толщиной и влагопоглощением. Установлено, что на паропроницаемость и влагопоглощение линейно влияют соотношения толщин входящих в КСТМ слоев. Полученные новые знания о влиянии структуры на

Витебский государственный технологический университет

гигиенические свойства КСТМ могут быть использованы для проектирования материалов с заданными свойствами.

Выполнено сравнение гигиенических свойств КСТМ и водозащитных плащевых материалов. Установлено, что материалы, содержащие мембранный слой, обладают более высокими показателями паропроницаемости. Выявлены ряды возрастающей влагопроводности и возрастающей паропроницаемости КСТМ различных структурных типов. Установлено, что эти ряды для КСТМ не совпадают, а для плащевых материалов – совпадают. Показано, что свойства КСТМ и водозащитных плащевых материалов несопоставимы и проводить оценку качества водонепроницаемых КСТМ, пользуясь нормативной и приборной базой плащевых материалов, нецелесообразно. Особенно резко различия в свойствах проявляются в показателе водонепроницаемости, который для КСТМ в десятки раз превышает стандартный показатель.

Анализ методов и средств определения показателя водонепроницаемости позволил разработать классификацию методов и установить существенные недостатки нормативной и приборной базы, которые требуют устранения. В частности это касается несовершенства узла зажима образцов, допускающего выпучивание и разрушение материала в процессе испытания высоким гидростатическим давлением, дороговизны, громоздкости и энергоемкости приборов, а также недопустимо низких нормативных значений водонепроницаемости, обусловленных отставанием отечественной стандартизации от международной. Для иллюстрации достаточно привести отечественные нормы водонепроницаемости специальной одежды (до 1000 мм в. ст.) и реальные значения этого показателя, характерные для КСТМ (свыше 20 000 мм в. ст.). При этом корень проблемы совсем не в сомнительной востребованности такого высокого уровня водозащитных свойств, а в отсутствии технических возможностей его регистрации и дороговизне процедур перехода к практике мировых лидеров текстильной промышленности.

Проведены исследования паропроницаемости КСТМ различными методами. По результатам исследований установлено, что более высокие значения установившегося коэффициента паропроницаемости показывают материалы, содержащие пористый мембранный слой, полученные наносным способом. Значения установившегося коэффициента паропроницаемости для ламинированных материалов, содержащих гидрофильную монолитную мембрану, ниже. Установлено, что паропроницаемость водозащитных материалов, содержащих мембранный полиэфируретановый слой, возрастает в ряду: типы 2 и 3, тип 5, типы 1 и 4. Согласно анализу данных о гигиенических свойствах ассортиментного ряда КСТМ, выпускаемых фирмой ASFgroup, этот вывод совпадает с данными ведущих производителей КСТМ.

Витебский государственный технологический университет

Литература

1. Орленко, Л. В. Роль и задачи конфекционирования в современном дизайне одежды / Л. В. Орленко // Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества (Материаловедение-99) : тез. докл. Междунар. науч.-прак. конф., Черкизово / МГУ сервиса; редкол.: В. И. Стельмашенко [и др.]. – М. : ПАИМС, 1999. – С. 126–127.
2. Коляденко, С. С. Товароведение текстильных товаров : учебник для ВУЗов / С. С. Коляденко, В. Т. Месяченко. – М. : Экономика, 1981. – С. 321.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения : ГОСТ Р 22.0.03-95. – Введ. 25.05.1995. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. – 16 с.
4. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности : монография / А. П. Жихарев [и др.] / М-во образ. и науки РФ, Казан. технол. ун-т. – Казань : КГТУ, 2011. – 232 с.
5. Метелёва, О. В. Теоретико-технологическая разработка процессов герметизации швейных изделий для повышения водозащитных свойств: дис. … докт. техн. наук : 05.19.04 / О. В. Метелёва. – Иваново, 2007. – 253 л.
6. Покровская, Е. П. Сравнительный анализ свойств герметизированных швов водонепроницаемых изделий / Е. П. Покровская, О. В. Метелёва, В. В. Веселов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2002. – № 4–5. – С. 108–112.
7. Полиевский, С. А. Гигиена спортивной одежды и снаряжения / С. А. Полиевский. – М. : Физкультура и спорт, 1987. – 111 с.
8. Лаптев, А. П. Гигиена : учебник / А. П. Лаптев, С. А. Полиевский. – М. : Физкультура и спорт, 1990. – 267 с.
9. Койранский, Б. Б. Охлаждение, переохлаждение и их профилактика / Б. Б. Койранский. – М. : Медицина, 1966. – 248 с.
10. Лисиенкова, Л. Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.19.01 / Л. Н. Лисиенкова ; МГУТД. – М., 2010. – 37 с.
11. Перепелкин, К. Е. Методы исследования свойств текстильных изделий : учеб. пособие / К. Е. Перепелкин, М. Н. Иванов, А. В. Куличенко, С. А. Савина. – Ленинград : ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1988. – 69 с.
12. Соловьев, А. Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.

Витебский государственный технологический университет

13. Бузов, Б. А. Материалы для одежды. Ткани / Б. А. Бузов, Г. П. Румянцева. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2012. – 224 с.

14. Семак, Б. Д. Износостойкость и формоустойчивость одежных тканей с малосминаемой и малоусадочной отделкой / Б. Д. Семак. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 152 с.

15. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / под ред. К. Г. Гущиной – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

16. Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. Общие технические условия : ГОСТ 28486-90. – Взамен ГОСТ 11517-83, ГОСТ 7779-79, ГОСТ 9202-87, ОСТ 17-479-84; введ. 01.07.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 8 с.

17. Делль, Р. А. Гигиена одежды : учебное пособие для вузов / Р. А. Делль, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарова. – 2-е изд. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 160 с.

18. Давыдов, А. Ф. Текстильное материаловедение : учеб. пособие / А. Ф. Давыдов. – М. : Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1997. – 168 с.

19. Кузьмина, И. В. Влияние химических чисток и стирок на гигиенические свойства тканей с кислотозащитной обработкой / И. В. Кузьмина, Н. Н. Симкович, Л. С. Слеткина // Надежность, экономичность и качество текстильных материалов : тез. докл. XII Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению, 19–21 октября 1988 г. : Т. 2 / программно-редакционная комиссия: М. П. Носов (председатель) [и др.]. – Киев : КТИЛП, 1988. – С. 121–123.

20. Официальный сайт компании «Toray» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.torayentrant.com. – Дата доступа: 08.12.2016.

21. Официальный сайт научно-исследовательского института текстильных материалов «Hohenshtein» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.hohenstein.de/en/testing/textile_testing /textile_testing_1.xhtml. – Дата доступа: 21.09.2014.

22. Официальный сайт компании «W.L. GORE &Associates» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gore-tex.com/en-us/home. – Дата доступа: 08.12.2016.

23. Луньков, М. А. Разработка экспресс-метода оценки паропроницаемости текстильных полотен / М. А. Луньков, А. В. Куличенко // Технология текстильной промышленности. – 2007. – № 3 С (302). – С. 24–26.

24. Нечушкина, Е. А. Разработка метода прогнозирования паропроницаемости текстильных материалов: дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / Е. А. Нечушкина. – М., 2010. – 226 л.

Витебский государственный технологический университет

25. Склянников, В. П. Гигиеническая оценка материалов для одежды (теоретические основы разработки) / В. П. Склянников, Р. П. Афанасьева, Е. Н. Машкова. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.

26. Медведева, Л. Л. Методика оценки влагопроводности текстильных материалов и пакетов одежды : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / Л. Л. Медведева ; Моск. технол. ин-т, [ЦНИИШП]. – М., 1971. – 163 с.

27. Бунькова, Т. О. Исследование транспорта жидкой влаги текстильными материалами / Т. О. Бунькова, Т. В. Глушкова // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 15–16 ноября 2009 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2009. – С. 291–293.

28. Браславский, А. Н. Капиллярные процессы в обувных материалах / А. Н. Браславский, В. А. Браславский. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 168 с.

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

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

31. Жихарев, А. П. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Жихарев [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.

32. Костромина, С. В. Исследование смачиваемости современных влагозащитных тканей жидкостями разного вида / С. В. Костромина // Альманах современной науки и образования. В 2 ч. Ч. I. – Тамбов: Грамота, 2009. – № 11 (30). – С. 53–54.

33. Панкевич, Д. К. Исследование влияния эксплуатационных нагрузок на свойства мембранных материалов / Д. К. Панкевич, О. В. Лобацкая, Е. В. Рагиня, Е. Г. Кучинская, Я. В. Иванова // тез. докл. 48 Междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., посвященной 30-летию ун-та, Витебск, 29 апреля 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 146–147.

34. Панкевич, Д. К. Применение методики многоцикловых нагружений 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 докл. Междунар. науч.-техн.

Витебский государственный технологический университет

конф., Витебск, 26–27 ноября 2014 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2014. – С. 194–196.

35. Буркин, А.Н. Эксплуатационные свойства текстильных материалов монография / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, Д. К. Панкевич; под общ. ред. А. Н. Буркина. – УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – 218 с.

36. Панкевич, Д. К. Водонепроницаемость материалов с полиуретановой мембраной в различных температурно-влажностных условиях многоциклового нагружения / Д. К. Панкевич, М. Л. Кукушкин Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – 257 с. – С. 54–58.

37. Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения : ГОСТ 22900-78. – Взамен 8971-59 ; введ. 01.01.1979. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 8 с.

38. 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 ноября 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 79–81.

39. 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., посвященной 30-летию ун-та, Витебск, 29 апр. 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 305–308.

40. Родионова, И. А. Пористая структура и проницаемость неорганических мембран: дис. ... канд. хим. наук : 05.17.18 / И. А. Родионова. – Москва, 2004. – 123 л.

41. Курмашева, Д. М. Адсорбция и процессы переноса молекул воды в пористых и мелкодисперсных средах : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / Д. М. Курмашева. – Москва, 2015. – 112 л.

42. Wakao, N. Heat and mass transfer in packed beds / N. Wakao, S. Kaguei. – London: Gordon and Breach Science, 1982. – 386 p.

43. Зурабян, К. М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: учебник для ВУЗов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, Я. И. Пустыльник. – М. : Академия, 2003. – 384 с.

44. Перепелкин, К. Е. Методы исследования свойств текстильных изделий : учеб. пособие / К. Е. Перепелкин, М. Н. Иванов, А. В. Куличенко, С. А. Савина. – Ленинград : ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1988. – 69 с.

Витебский государственный технологический университет

45. Светлов, Ю. В. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности: учеб. пособие для ВУЗов / Ю. В. Светлов. – Москва : Академия, 2003. – 384 с.

46. Ali Reza Tehrani-Bagha Waterproof breathable layers – A review / Tehrani-Bagha A. R. – Advances in Colloid and Interface Science 268, 2019. – p. 114–135.

47. Бузов, Б. А. Материалы для одежды. Ткани / Б. А. Бузов, Г. П. Румянцева. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2012. – 224 с.

48. Панкевич, Д. К. Исследование паропроницаемости мембранных материалов экспресс-методом сорбента / Д.К. Панкевич // Материалы докладов 47 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 355–358.

49. Родичева, М. В. Проектирование одежды с естественной вентиляцией для работы в условиях термонейтрального и нагревающего микроклимата: дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 / М. В. Родичева. – Орел, 1999. – 187 л.

50. Williams, J. T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing Elsevier : Wood head Pablishing Ltd, 2018. – 590 p.

51. 13. Holmes, D. A. Waterproof breathable fabrics / D. A. Holmes. – England ; Cambrige : The Textile Institute, 2000. – 576 p.

52. 14. William, C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates / C. Smith. William. – Elsevier : Wood head Pablishing Ltd, 2010. – 320 p.

53. Optimal moisture management for outdoor activities in all seasons with changing load intervals [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sympatex.com/en/technologies/513/moisture-tech-apparel. – Дата доступа: 08.12.2016.

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

55. 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 докл. Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 27–28 ноября 2013 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: Т. П. Бондарева [и др.]. – Витебск, 2013. – С. 177–179.

56. 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 ноября 2012 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2012. – С. 204–206.

Витебский государственный технологический университет

57. ISO 15496:2018. Textiles. Measurement of water vapour permeability of textiles for the purpose of quality control-14.03.2018. – 14 p.

58. Панкевич, Д. К. Исследование паропроницаемости водозащитных текстильных материалов с полимерным покрытием / Д. К. Панкевич, Е. А. Домбровская / Формирование конкурентоспособного специалиста через творчество : материалы Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов, учащихся учреждений высшего и среднего специального образования, Барановичи, 25 мая 2018 г. / УО «БГКЛП им. В. Е. Чернышева». – Барановичи, 2018. – С. 35–36.

59. Ткани плащевые из химических волокон и смешанные. Общие технические условия : ГОСТ 29222-91. – Введ. 01.01.1993. – М. : Стандартинформ, 2006. – 8 с.

60. Кожа искусственная одежная. Общие технические условия : ГОСТ 28461-90. – Взамен ОСТ 17-884-81, ОСТ 17-894-81 ; введ. 01.07.1991. – М. : Стандартинформ, 2005. – 8 с.

61. Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия : ГОСТ 11209-85. – Взамен ГОСТ 11209-72 ; введ. 01.07.1986. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 11 с.

62. Ткани хлопчатобумажные палаточные и плащевые. Общие технические условия : ГОСТ 7297-90. – Взамен ГОСТ 7297-75, ОСТ 17-743-78 ; введ. 01.07.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1990. – 11 с.

63. Материалы текстильные. Водостойкость. Испытания на устойчивость к воздействию дождя. Воздействие горизонтальных водяных брызг : ГОСТ Р ИСО 22958-2011. – Введ. 12.09.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 12 с.

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

65. 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.

66. Панкевич, Д. К. Оценка эксплуатационных свойств композиционных слоистых текстильных материалов для водозащитной одежды: дис. … канд. техн. наук: 05.19.01 / Д. К. Панкевич ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 244 с.

67. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств : ГОСТ 3816-81. –

Витебский государственный технологический университет

Взамен ГОСТ 3816-61 ; введ. 01.07.1982. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 14 с.

68. Материалы текстильные. Метод испытания водоупорности. Испытание гидростатическим давлением : ГОСТ Р 51553-99 = EN 20811-92 ; введ. 01.01.2001. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 4 с.

69. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости : ГОСТ 413-91 = ИСО 1420-87. – Взамен ГОСТ 413-75 ; введ. 27.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 6 с.

70. Кожа. Физические и механические испытания. Метод определения давления, необходимого для проникновения воды : ГОСТ Р ИСО 17230-2015. ; введ. 30.06.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 6 с.

71. Официальный сайт предприятия «Метротекс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.metrotex.ru/. – Дата доступа: 08.12.2016.

72. Официальный сайт предприятия «Quailitest» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.worldoftest.com/textile.htm. – Дата доступа: 08.12.2016.

73. Официальный сайт предприятия «UGNlabCo. Ltd» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ugnlab.ru. – Дата доступа: 08.12.2016.

74. Система стандартов безопасности труда. Материалы для средств индивидуальной защиты с резиновым или пластмассовым покрытием. Метод определения водопроницаемости: ГОСТ 12.4.263-2014. – Введ. 01.12.2015. – Москва : ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 12 с.

75. Официальный сайт предприятия «asfgroup» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.asfgroup.com/pages/specs.html. – Дата доступа: 08.12.2019.

Витебский государственный технологический университет

ГЛАВА 4
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРИБОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе испытания материалов на водонепроницаемость методом высокого гидростатического давления образец материала находится в напряженно-деформированном состоянии, которое может различаться в зависимости от конструктивных особенностей применяемого средства измерения. При эксплуатации одежды воздействие гидростатического давления на поверхность материалов обычно соответствует схеме, представленной на рисунке 4.1. Наибольшее по величине давление Р испытывают материалы, расположенные либо на участках опорных поверхностей, либо перпендикулярно направлению действия струй воды (капель дождя, переносимых ветром). При этом сила Р прижимает материалы к поверхности тела человека. Под тяжестью воды, накопившейся в складках одежды, материалы смещаются относительно опорной поверхности и крайне редко образуют так называемый «кошель», который моделирует для определения водозащитной способности материалов стандартный метод по ГОСТ 28486-90. Совсем далеки от реального напряженно-деформированного состояния материалов в процессе эксплуатации те схемы, которые реализованы во многих испытательных конструкциях: зажатый по периметру натянутый образец подвергается гидростатическому давлению.

Рисунок 4.1 – Схема действия гидростатического давления на КСТМ для одежды в процессе эксплуатации

Витебский государственный технологический университет

При подаче в измерительную ячейку прибора высокого гидростатического давления образец материала деформируется, не имея возможности смещаться либо быть прижатым к поверхности. Площадь образца увеличивается, толщина уменьшается, нарушается структура материала, а проникание воды на изнаночную сторону материала происходит в результате его разрушения.

Этот методически неверный подход к оценке водозащитной способности материалов замечен специалистами. Так, в примечаниях к термину «водонепроницаемость» в тексте стандарта ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия» содержится критика устаревшего термина «водостойкость» и метода ее определения, который позволяет исследовать «прочность на прорыв под действием давления водяного столба» вместо водонепроницаемости [1].

В связи с этим необходимо уточнить определение термина «водонепроницаемость» и привести его стандартную актуальную трактовку, на которую и будем ориентироваться в данной главе.

Водонепроницаемость – (water penetration resistance/WPR) – свойство тканей с покрытием выдерживать гидростатическое давление (давление столба жидкости) при испытании по ГОСТ 413 при скорости нарастания давления 60 см H_2O/мин [1].

Для определения уровня водонепроницаемости мембранных текстильных материалов используют приборы, позволяющие проводить испытания при гидростатическом давлении не ниже 0,01 МПа (приблизительно 100 см H_2O). В связи с этим проблема обеспечения правильного положения образца в зажимном устройстве, не допускающего проскальзывания и деформации материала, является одной из ключевых. С целью предотвращения разрушения материала в процессе испытания существующие в настоящее время конструкции гидростатических приборов, во-первых, выполняют с уменьшенным диаметром рабочей площади образца, во-вторых, снабжают сетчатой металлической пластиной, накладываемой со стороны, противоположной действию гидростатического давления.

Анализ литературных источников [2–16] по вопросу методов и средств исследования водонепроницаемости текстильных материалов выявил следующие недостатки существующей приборной базы:

– значительный вес и габариты приборов;

– разрушение образца во время испытания вследствие прогиба;

– визуальный контроль проникания воды;

– невозможность проведения комбинированных испытаний по исследованию водонепроницаемости после многоцикловых нагрузок на одном и том же образце материала из-за большого размера образца;

Витебский государственный технологический университет

– невозможность создания высокого давления в измерительной ячейке за счет несовершенства конструкции узла зажима, допускающего проскальзывание образца.

Существенным недостатком многих современных приборов для определения водонепроницаемости является невозможность исследования водонепроницаемости образцов, прошедших моделирование эксплуатационных воздействий по различным методикам. В частности, ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия» регламентирует проведение исследования водонепроницаемости после сгибания, старения, истирания и сухой чистки. В связи с этим требуется применять гидростатический прибор с малым размером измерительной ячейки, сопоставимым с размерами образцов материалов по соответствующим методикам предварительных воздействий.

4.1 Обоснование необходимости совершенствования методик и средств определения водонепроницаемости мембранных текстильных материалов

Различия в значениях показателей физико-механических свойств КСТМ и плащевых материалов, доказывающие несостоятельность объединения этих материалов в одну классификационную группировку, показаны в источнике [17]: показатели разрывной и раздирающей нагрузки КСТМ превышают норму для плащевых материалов более чем в 2 раза, а показатель водонепроницаемости КСТМ в десятки раз выше.

Уровень водонепроницаемости композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембранный слой, значительно выше, чем у плащевых материалов из-за различий в структуре. Для оценки глубины этих различий было проведено исследование водонепроницаемости КСТМ по стандартному методу в лаборатории испытания материалов ОАО «Моготекс». Результаты исследования водонепроницаемости представлены в таблице 4.1. Для сравнения в таблице 4.1 указана норма показателя водонепроницаемости для плащевых материалов с пленочным покрытием в три слоя (максимальный уровень) по ГОСТ 28486-90 «Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. Общие технические условия», которым в настоящее время все еще пользуются при оценке качества КСТМ на предприятиях Республики Беларусь.

В таблице 4.1 для КСТМ, значения водонепроницаемости которых выше 10 000 мм в. ст., указано максимально возможное для регистрации используемым испытательным оборудованием значение (запись

Витебский государственный технологический университет

результата в форме >10000). Исследования проведены по ГОСТ 3816-81 (ISO 811) методом высокого гидростатического давления при постоянной скорости увеличения давления 600±30 мм в. ст. на кондиционированных образцах размером 200х200 мм с рабочей площадью 100±5 см^2. Использовался гидростатический прибор SERTO 461.

Анализ данных таблицы 4.1 позволяет сделать вывод о методически неоправданном применении существующей нормативной базы для определения водонепроницаемости КСТМ, поскольку их физико-механические свойства значимо отличаются от нормативных показателей по ГОСТ 28486-90. Средний показатель водонепроницаемости КСТМ превышает нормативное значение более чем в 10 раз. Это указывает на недостаточность существующей нормативной и методической базы и подтверждает необходимость её совершенствования.

Таблица 4.1 – Результаты исследования водонепроницаемости КСТМ

Номер образца (тип)	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав основы / мембраны	Поверхностная плотность, г/м^2	Водонепро-ницаемость, мм в. ст.
1 (1)	Ultrex, Корея	ПЭ / ПУ	115	10000
2 (1)			122	7700
3 (1)			118	8700
18 (1)			142	>10000
8 (2)	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ	211	4900
9 (2)			185	4930
22 (2)		(ПЭ, ХЛ) / ПУ	266	4500
11 (3)	Hipora, Корея	ПЭ / ПУ	136	9890
12 (3)			137	8000
13 (3)			132	7800
14 (4)	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ / ПЭ	214	>10000
6 (5)	SportchiefR, Канада	ПЭ / ПУ / ПЭ	167	9800
7 (5)			151	10000
Средний показатель				**8171**
Норма для тканей с пленочным покрытием в 3 слоя				**700**

С целью совершенствования приборной базы по определению водонепроницаемости материалов составлено техническое задание на разработку нового прибора для определения водонепроницаемости текстильных материалов методом высокого гидростатического давления. Область применения прибора – легкая промышленность,

Витебский государственный технологический университет

точнее – испытательные центры, научно-исследовательские лаборатории, лаборатории испытания материалов швейных и текстильных предприятий. Возможная область применения – спортивные и туристические организации, где прибор может применяться для контроля уровня водозащитных свойств экипировки в динамике эксплуатации.

Актуальность разработки обусловлена тем, что современные материалы, обеспечивающие высокий уровень водозащитных свойств (от 3000 до 20 000 мм в. ст.), применяются в швейном производстве Республики Беларусь и выпускаются текстильными предприятиями страны. Однако лишь единицы из крупнейших предприятий концерна «Беллегпром» располагают адекватной приборной базой для определения водонепроницаемости материалов в диапазоне давлений свыше 3000 мм в. ст.

К разрабатываемому прибору предъявляются следующие требования:

– портативность;
– простота обслуживания;
– удобство пользования;
– надежность в эксплуатации;
– возможность проведения испытания без вырезания образца;
– возможность проведения испытания не только на куске материала, но и на участке готового изделия;
– обеспечение преемственности испытаний при исследовании изменения водонепроницаемости после многоцикловых нагрузок на образец, приложенных с помощью различных испытательных приборов;
– автоматический контроль проникания воды через образец материала;
– широта диапазона измерений;
– стабильность измерений;
– обеспечение горизонтального положения образца в зажимном устройстве в течение всего времени испытания;
– исключение проскальзывания образца в зажимном устройстве;
– возможность создания в измерительной ячейке высокого давления (не менее 20 000 мм в. ст.);
– возможность проводить испытание в соответствии с требованиями стандартов.

Техническое задание на разработку прибора

1. Цель, назначение, исходные данные для выполнения.

Разработка конструкторской документации и изготовление по ней прибора для определения водонепроницаемости текстильных материалов методом высокого гидростатического давления.

Витебский государственный технологический университет

Исходные данные для разработки – описание и схема прибора.

2. Технические требования.

В состав прибора должны входить следующие конструктивные узлы:

– узел зажима образца;
– измерительная ячейка;
– узел повышения и поддержания давления;
– рукоятка;
– светозвуковой индикатор воды;
– сменные манометры.

3. Требования к конструкции прибора.

Прибор должен обеспечивать подачу и поддержание гидростатического давления величиной от 0 до 20 000 мм в. ст.

Конструкция прибора должна позволять смену манометров для проведения испытаний различных по уровню водонепроницаемости материалов.

4. Требования назначения.

Метод высокого гидростатического давления предполагает возможность закрепления материала в узле зажима и подачи на лицевую сторону образца гидростатического давления с регистрацией момента проникания воды на изнаночную сторону образца.

Техническая характеристика:

– узел зажима должен обеспечивать удобство заливания воды в измерительную ячейку, возможность расположения не только образца, но и участка готового изделия, герметичность, горизонтальное расположение исследуемого материала;

– измерительная ячейка должна иметь цилиндрическую форму внутренним диаметром не менее 2 см;

– узел подачи и поддержания давления должен обеспечивать подачу и поддержание давления в диапазоне от 0 до 20 000 мм в. ст.

5. Требования к взаимозаменяемости и унификации: проектирование прибора должно вестись с максимальным использованием стандартных, унифицированных сборочных единиц, деталей и устройств, серийно выпускаемых отечественной промышленностью.

6. Требования к транспортированию и хранению: прибор следует транспортировать в специальном чехле и предохранять от ударов и опрокидывания.

7. Требования к техническому уровню: выполнение требований настоящего технического задания обеспечит соответствие прибора современному техническому уровню. Прибор не имеет аналогов в отечественном лабораторном оборудовании.

8. Предполагаемый тип производства прибора – единичный экземпляр.

Витебский государственный технологический университет

4.2 Конструкция портативного прибора для определения водонепроницаемости текстильных материалов

С учетом сформулированных в разделе 4.1 требований, в соавторстве с А. Н. Буркиным, В. Д. Борозной и Р. С. Петровой был разработан портативный прибор, который позволяет создавать и поддерживать в измерительной ячейке высокое гидростатическое давление, обеспечивая в процессе испытания горизонтальное, без прогиба, положение образца [18, 19, 20]. Внешний вид прибора представлен на рисунке 4.2, схема – на рисунке 4.3.

Рисунок 4.2 – Внешний вид разработанного прибора

В приборе используется измерительная ячейка меньших размеров, проникание воды констатируется датчиком-водоснимателем со светозвуковым сигналом. Это позволяет закрывать поверхность образца зажимной пластиной, в результате чего исключается прогиб, нарушение структуры и проскальзывание образца в процессе испытания. Для увеличения давления в системе используется мембрана, являющаяся дном измерительной ячейки с водой, и прогибающая её полусфера. В результате действия полусферы на мембрану, объем измерительной ячейки уменьшается, и гидростатическое давление в системе возрастает.

Работает прибор следующим образом. В рабочую область измерительной ячейки заливают воду, материал располагают лицевой стороной к воде между резиновыми накладками 7 и 8 зажимного устройства. Удерживая прибор за рукоятку 6, вращением ручки 4 зажима материала прижимают зажимную пластину 3 к измерительной

Витебский государственный технологический университет

ячейке. Вращением ручки 11 регулировки давления повышают гидростатическое давление в рабочей области измерительной ячейки. Гидростатическое давление воды воздействует на материал, а металлизированная диэлектрическая пластина 15 (датчик воды) регистрирует момент появления воды на обратной стороне материала, сопровождающийся звуковым и световым сигналом индикатора 14.

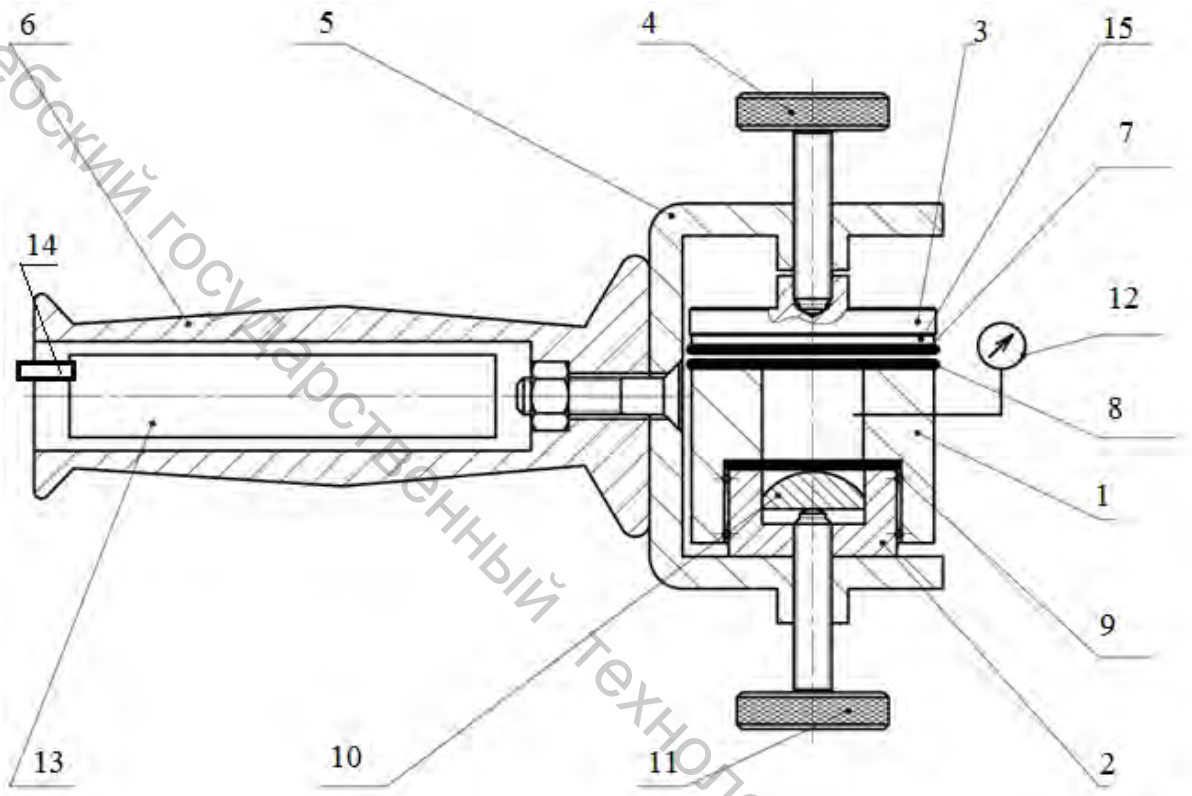


Рисунок 4.3 – Схема разработанного прибора: 1 – втулка наружная; 2 – втулка внутренняя; 3 – зажимная пластина; 4 – ручка; 5 – скоба; 6 – рукоятка; 7, 8 – резиновые накладки; 9 – мембрана; 10 – полусфера; 11 – ручка регулировки давления; 12 – манометр; 13 – электронная плата с источником питания; 14 – светозвуковой индикатор; 15 – металлизированная диэлектрическая пластина

Величина гидростатического давления в рабочей области измерительной ячейки определяется по манометру 12. Для обеспечения широты диапазона рабочих давлений прибора и точности измерений предусмотрены сменные манометры.

Методика проведения испытаний, учитывающая конструктивные особенности разработанного прибора, представлена в разделе 4.3.

Витебский государственный технологический университет

Прибор реализует метод высокого гидростатического давления, он портативен, не требует подключения к электросети, обеспечивает неразрушающий контроль водонепроницаемости материалов без вырезания образца, позволяет определять водонепроницаемость материалов в широком диапазоне давлений. После прохождения процедур метрологического контроля и метрологического подтверждения пригодности прибор может использоваться для проведения испытаний по ГОСТ Р 51553-99, ГОСТ 413 и ГОСТ 12.4.263-2014.

Разработанный прибор может эксплуатироваться в любых помещениях производственного назначения при температуре не ниже 0 °С. Его преимуществами перед аналогами являются: малый вес (1,2 кг), компактность (габариты: 180 мм х 45 мм х 150 мм), возможность проведения испытаний без вырезания образца и без подключения к электросети, транспортабельность, обеспечение преемственности испытаний при проведении исследований водонепроницаемости после многоцикловых нагружений образца.

4.3 Методика исследования водонепроницаемости текстильных материалов портативным прибором

Настоящая методика распространяется на текстильные материалы с высоким уровнем водонепроницаемости и изделия из них, за исключением материалов, содержащих токопроводящие элементы в структуре (металлизированные покрытия).

Методика предназначена для определения сопротивления прониканию воды, которое характеризуется значением максимального гидростатического давления (Р, МПа), при котором происходит проникание воды через материал, либо временем (t, с), прошедшим от начала нагружения материала гидростатическим давлением определенной величины (по ТНПА на материал), до его сквозного промокания.

Настоящая методика разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 8.010-2013 [21].

Методика обеспечивает измерение водонепроницаемости образца текстильного материала или изделия из него с показателями точности согласно таблице 4.2 в зависимости от диапазона измеряемого гидростатического давления.

Для всех видов материалов в диапазоне измерений методики смещение незначимо.

Витебский государственный технологический университет

Значения оценок относительной суммарной стандартной неопределенности и относительной расширенной неопределенности приведены в таблице 4.3.

Указанные метрологические характеристики получены на основании данных эксперимента, проведенного в соответствии с:

– показатели прецизионности – СТБ ИСО 5725-2-2002;

– показатели правильности – СТБ ИСО 5725-1-2002;

– оценки неопределенности – ISO 21748:2010 «Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценивании неопределенности измерения».

Таблица 4.2 – Относительные значения показателей повторяемости и промежуточной прецизионности

Диапазон измеряемого гидростатического давления, МПа	Относительное стандартное отклонение повторяемости, $\sigma_{г}$, %	Относительное стандартное отклонение промежуточной прецизионности, $\sigma_{i(TO)}$, %
От 0 до 0,04	3,1	6,8
Свыше 0,04 до 0,08	3,6	7,1
Свыше 0,08	3,6	7,1

Таблица 4.3 – Оценка неопределенности результатов измерений, выполняемых в соответствии с разработанной методикой

Диапазон измеряемого гидростатического давления, МПа	Относительная суммарная стандартная неопределенность, U_c, %	Относительная расширенная неопределенность, U, %, К=2, Р=95 %
От 0 до 0,04	5	10
Свыше 0,04 до 0,08	7	14
Свыше 0,08	7	14

Для реализации методики используются следующие средства измерений, испытательное и вспомогательное оборудование, материалы:

Секундомер электронный с диапазоном измерений от 0 с до 9 ч 59 мин с ценой деления 0,01 с, $\Delta T_1 = \pm (6{,}13 \cdot 10^{-6} \cdot T + 0{,}012)$ с, где Т – измеряемый период.

Для измерения гидростатического давления в диапазоне от 0 до 0,04 МПа – манометр технический по ГОСТ 2405-88 типа МВТИф диапазон измерений (0-0,06) МПа, ценой деления 0,001 МПа, $\Delta P = \pm$ 0,0006 МПа.

Витебский государственный технологический университет

Для измерения гидростатического давления в диапазоне свыше 0,04 – манометр технический по ГОСТ 2405-88 типа МВТИф диапазон измерений (0-1,6) МПа, ценой деления 0,002 МПа, Δ= ± 0,0096 МПа.

Гигрометр психрометрический с диапазоном измерений от 30 % до 80 % – влажности и от 0 °С до 40 °С – температуры, с ценой деления – 0,2 °С.

Вода водопроводная или дистиллированная.

Портативный прибор для определения водонепроницаемости текстильных материалов методом высокого гидростатического давления, схема которого представлена на рисунке 4.3.

Допускается применение других средств измерений, испытательного и вспомогательного оборудования, обеспечивающих измерение метрологических и технических характеристик с требуемой точностью, а материалы по качеству не хуже указанных.

Используемый метод измерений заключается в определении значения максимального гидростатического давления, при котором происходит проникание воды через материал.

Возможно использование метода, при котором определяется значение времени, прошедшего от начала нагружения материала гидростатическим давлением заданной величины, до проникания воды через материал.

К безопасности и квалификации оператора предъявляются следующие требования:

При выполнении работ по определению водонепроницаемости обслуживающий персонал должен знать и строго соблюдать на рабочем месте требования:

– электробезопасности по ГОСТ 12.2.003;

– пожарной безопасности по ГОСТ 12.2.004;

– техники безопасности при работе в соответствии с инструкциями, утвержденными в установленном порядке;

– техники безопасности, изложенные в инструкции по эксплуатации средств измерений и оборудования, применяемых при проведении измерений.

К проведению работ по данной методике допускаются лица, имеющие высшее специальное или среднее образование по профилю выполняемых работ, прошедшие обучение приемам работы на оборудовании, освоившие выполнение всех операций, предусмотренных методикой.

При выполнении измерений в лаборатории должны быть соблюдены следующие условия:

– относительная влажность воздуха – (60±5) %,

– температура воздуха – (20±5) ºС.

При выполнении измерений вне условий лаборатории должны соблюдаться следующие условия:

Витебский государственный технологический университет

– температура окружающего воздуха (10–25) °С;

– относительная влажность воздуха (30–80) %.

Для испытания в качестве образцов могут применяться точечные пробы материалов, отобранные в соответствии с ГОСТ 20566-75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб», испытание может проводиться на участке швейного изделия, размер и форма которого позволяют проведение испытания. Размер и форма элементарной пробы не могут быть меньше, чем квадрат со стороной 40 мм или круг диаметром 40 мм. Допускается проведение измерения без вырезания образца.

На поверхностях образцов, подвергаемых гидростатическому давлению, не должно быть дыр, проколов, негерметизированных ниточных соединений и дефектов покрытия, определяемых визуально.

Количество образцов для испытания должно быть не менее трех, при разногласиях – не менее десяти образцов.

Перед выполнением испытаний в лаборатории материалы выдерживают в развернутом виде не менее 24 ч в климатических условиях по СТБ ISO 139-2008 «Материалы текстильные. Стандартные атмосферные условия для кондиционирования и испытаний»:

– относительная влажность воздуха – (65±4) %,

– температура воздуха – (20±2) ºС.

Воду перед испытанием выдерживают при температуре испытания не менее 2 часов.

При выполнении измерений вне условий лаборатории относительную влажность и температуру воздуха, измеренные непосредственно перед выполнением измерений, указывают в протоколе испытаний. Контролируют органолептически сухость и чистоту лицевой и изнаночной поверхностей исследуемого образца.

Подготовка прибора включает следующие операции:

– освобождение прибора из чехла;

– установка ручки регулировки давления в крайнее нижнее положение;

– расположение прибора на горизонтальной поверхности ручкой зажима образцов вверх;

– установка ручки зажима образцов в открытое положение таким образом, чтобы зазор между резиновыми накладками позволял беспрепятственное заливание воды в рабочую область наружной втулки прибора;

– проверка отсутствия влаги на пластине датчика воды;

– проверка положения стрелки манометра (должна указывать на ноль);

– заливание воды в рабочую область наружной втулки прибора в объеме, обеспечивающем формирование выпуклого мениска.

Витебский государственный технологический университет

Закрепление образца производится вращением ручки зажима образцов по часовой стрелке до упора после расположения образца между резиновыми накладками лицевой стороной к поверхности воды таким образом, чтобы по периметру ручки зажима образца оставался припуск материала минимум 2 мм.

Выполнение измерений проводится в следующей последовательности.

Определение водонепроницаемости в динамическом режиме нагружения при переменном высоком давлении

Медленным вращением ручки регулировки давления по часовой стрелке создают гидростатическое давление внутри прибора, которое регистрируется манометром. Скорость повышения давления в рабочей области наружной втулки прибора контролируют при помощи секундомера, добиваясь увеличения давления на 1 деление шкалы манометра за определенное время.

Скорость повышения давления рассчитывают по формуле (4.1)

$$V = \frac{P_1}{T}, \tag{4.1}$$

где P_1 – цена деления шкалы используемого в процессе испытания манометра, МПа; T – время, в течение которого давление повышается на 1 деление шкалы манометра, с.

Результат расчета указывают в протоколе испытаний. Вращение ручки регулировки давления прекращают после сигнала индикатора о наличии воды на датчике. Снимают показания манометра. Записывают значение давления, при котором произошло сквозное промокание материала. Вращают ручку регулировки давления против часовой стрелки, понижая давление в рабочей области наружной втулки, вращением ручки зажима образцов против часовой стрелки освобождают материал из зажима.

За результат испытания принимают среднее арифметическое трех значений, полученных при испытании трех элементарных проб.

Определение водонепроницаемости в статическом режиме нагружения при постоянном высоком давлении

Медленным вращением ручки регулировки давления по часовой стрелке создают гидростатическое давление внутри прибора, соответствующее ТНПА на материал, которое регистрируется

Витебский государственный технологический университет

манометром. Вращение ручки регулировки давления прекращают. Включают таймер. После сигнала индикатора о наличии воды на датчике, или по истечении указанного в ТНПА на материал времени, отключают таймер, вращают ручку регулировки давления против часовой стрелки, понижая давление в рабочей области наружной втулки, вращением ручки зажима образцов против часовой стрелки освобождают материал из зажима. Записывают значение времени (с), прошедшего от начала испытания до сигнала о наличии воды на изнаночной поверхности образца.

За результат испытания принимают среднее арифметическое трех значений, полученных при испытании трех элементарных проб.

После выполнения испытаний образец вынимают, воду из рабочей области наружной втулки прибора удаляют, рабочую область, зажимную пластину и корпус прибора высушивают ватным тампоном, прибор помещают в чехол.

Обработка результатов измерений

Расчет водонепроницаемости при использовании в качестве показателя значения максимального гидростатического давления (МПа), при котором происходит проникание воды через материал, выполняется следующим образом.

Среднее арифметическое трех измерений гидростатического давления на трех элементарных пробах при выполнении условий повторяемости вычисляют по формуле (4.2)

$$P = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} P_i \ , \qquad (4.2)$$

где P_1, P_2, ...,P_n – результаты измерений гидростатического давления при проникании воды через материал на n элементарных пробах, Мпа; n – количество элементарных проб одного образца материала.

Расчет водонепроницаемости при использовании в качестве показателя значения времени (с), прошедшего от начала нагружения материала гидростатическим давлением определенной величины (по ТНПА), до сквозного промокания материала выполняется следующим образом.

Среднее арифметическое трех измерений времени на трех элементарных пробах при выполнении условий повторяемости вычисляют по формуле (4.3)

Витебский государственный технологический университет

$$t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \ , \qquad (4.3)$$

где $t_1, t_2, \ldots, t_n$ – результаты измерений времени, прошедшего от начала нагружения материала гидростатическим давлением до проникания воды через материал на n элементарных пробах, с.

Расчет критериев повторяемости и воспроизводимости

Расчет приемлемости результатов измерений, полученных в условиях повторяемости, проводят в соответствии с требованиями СТБ ИСО5725-6-2002 следующим образом.

Рассчитывают расхождение между результатами измерений, полученными на двух элементарных пробах одного образца $p_{1,3}$, и на одной пробе p_2, значение расхождения сравнивают с абсолютным значением предела повторяемости r_{abc}. Если выполняется условие (4.4)

$$\left| p_{1,3} - p_2 \right| \le r_{abc} \ , \qquad (4.4)$$

то оба результата считают приемлемыми и в качестве результата измерений указывают среднее арифметическое значение P, рассчитанное по формуле (4.3).

Абсолютное значение предела повторяемости r_{abc} рассчитывают по формуле (4.5)

$$r_{abc} = 0{,}01 \cdot r \cdot P \ , \qquad (4.5)$$

где P – среднее арифметическое значение результатов измерений водонепроницаемости трех элементарных проб одного образца, МПа;
r – относительное значение предела повторяемости, равное 13 %.

При невыполнении условия (4.4) проводят повторные испытания.

Расчет приемлемости результатов измерений, полученных в условиях воспроизводимости, проводят в соответствии с требованиями СТБ ИСО 5725-6 следующим образом: каждый из двух операторов проводит измерения согласно методике выполнения измерений и получает результат. Рассчитывают среднее арифметическое значение результатов измерений p и абсолютное расхождение между результатами измерений, полученными двумя операторами, значение

Витебский государственный технологический университет

расхождения сравнивают с абсолютным значением критической разности CD_r. Если выполняется условие (4.6)

$$\left| p_{1,3} - p_2 \right| \le \mathrm{CDr} \,. \qquad (4.6)$$

Абсолютное значение критической разности CDr, МПа, вычисляют по формуле (4.7)

$$\mathrm{CDr} = 0{,}01 \cdot \mathrm{k} \cdot \mathrm{CD} \cdot P \,. \qquad (4.7)$$

где k – коэффициент, равный 1,3 для полимерных материалов; CD – относительное значение критической разности, 19 %; *P* – среднее арифметическое значение результатов двух операторов, МПа.

При превышении значения критической разности для разрешения различий между результатами, полученными двумя операторами, используют процедуры, указанные в разделе 5 СТБ ИСО 5725-6-2002.

При оформлении результатов измерений с использованием расширенной неопределенности математическая модель измеряемой величины будет иметь вид (4.8)

$$\overline{\mathrm{P}} + \delta = P + \delta \cdot p_1 + \delta \cdot p_2 \,. \qquad (4.8)$$

где $\overline{P}$ – среднее арифметическое значений по результатам испытания.

Характеристика входных величин представлена в таблице 4.4. Анализ входных величин – в таблице 4.5.

Проводится n ≥ 3 измерения, по результатам которых определяется среднее арифметическое величины гидростатического давления по формуле (4.2), где *Pi* – результат i-го измерения оператора, МПа.

Стандартное отклонение гидростатического давления определяют по формуле (4.9)

$$s(P) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (P_i - \overline{P})^2} \,. \qquad (4.9)$$

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.4 – Входные величины

Входная величина	Обозначение	Единица измерения
Гидростатическое давление	P	МПа
Поправка на отклонение в показаниях манометра	δp_1	МПа
Поправка из-за ошибки считывания оператором показаний манометра	δp_2	МПа

Таблица 4.5 – Анализ входных величин

Входная величина: P	Тип неопределенности: А Вид распределения: нормальное Оценочное значение: P Стандартная неопределенность: $u(P)=s(P)/\sqrt{n}$
Входная величина: δp_1	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оценочное значение: p_1 Интервал в котором находится значение входной величины: $\Delta p_1 = \pm 0{,}002$ МПа, где P – измеряемое гидростатическое давление Стандартная неопределенность: $u(\delta p_1)=\Delta p_1/\sqrt{3}$
Входная величина: δp_2	Тип неопределенности: В Вид распределения: прямоугольное Оценочное значение: p_2 Интервал в котором находится значение входной величины: $\Delta p_2 = \pm 0{,}001$ МПа Стандартная неопределенность: $u(\delta p_2)=\Delta p_2/\sqrt{3}$

Суммарная неопределенность рассчитывается по формуле (4.10)

$$Uc(P) = \sqrt{uc^2(p_1) + uc^2(p_2) + uc^2(P)} \quad . \qquad (4.10)$$

Относительная стандартная неопределенность

Относительная стандартная неопределенность рассчитывается по формуле (4.11)

$$uc(P) = \frac{u(P)}{P} \quad . \qquad (4.11)$$

Расширенная неопределенность при коэффициенте охвата k=2 для выбранного уровня доверия 95 % определяется по формуле (4.12)

Витебский государственный технологический университет

$$U(P) = k \cdot Uc(P). \qquad (4.12)$$

Полный результат измерений, выдаваемый лабораторией, состоящий из оценки y измеряемой величины P и приписанной ей расширенной неопределенности измерения $U(P)$, представляется в форме выражения (4.13) с указанием единицы измерения выходной величины:

$$P = y \pm U(P), \text{ (МПа).} \qquad (4.13)$$

Контроль точности результатов измерений выполняется с периодичностью, установленной системой менеджмента качества в лаборатории, но обязательно:

– при внедрении методики;

– при появлении факторов, влияющих на стабильность процесса по результатам испытаний;

– при значимых изменениях в условиях измерений (новые средства измерений, ремонт оборудования и т. д.);

– при любых выявленных несоответствиях в работе лаборатории, применительно к данной методике выполнения измерений.

4.4 Сопоставление результатов исследований

С целью оценки пригодности разработанного прибора для проведения испытаний был проведен ряд опытов по исследованию водонепроницаемости мембранных текстильных материалов на разработанном и эталонном приборе с сопоставлением результатов.

В Республике Беларусь только аккредитованная лаборатория испытания материалов ОАО «Моготекс» имеет прибор SERTO 461, позволяющий применять метод высокого гидростатического давления при определении водонепроницаемости текстильных материалов. Данный прибор обладает существенным недостатком – при подаче высокого гидростатического давления зажатый в зажимном устройстве образец материала деформируется. Поскольку прибор используется для исследования материалов с повышенной водонепроницаемостью, давление в системе «измерительная ячейка – образец» всегда достаточно высоко (свыше 0,02 МПа). Вследствие воздействия высокого гидростатического давления и увеличения площади образца уменьшается его толщина, нарушается структура, а проникание воды на изнаночную сторону материала происходит в результате появившихся в процессе испытания нарушений структуры: увеличения

Витебский государственный технологический университет

размера пор, микротрещин. Конструкция прибора не предусматривает создание и поддержание в испытательной ячейке гидростатического давления свыше 0,1 МПа.

При выполнении испытания на разработанном приборе прогиб материала исключен (что соответствует реальным условиям эксплуатации материала), а повышение давления возможно в более широком диапазоне (до 0,4 МПа).

В связи с конструктивными различиями приборов показания манометра, регистрирующего величину давления в момент проникания воды через испытуемый материал, будут различны – манометр, присоединенный к разработанному прибору, зафиксирует более высокое значение, что соответствует реальному уровню водонепроницаемости материала в условиях эксплуатации.

Для сопоставления результатов исследования водонепроницаемости КСМ на разработанном приборе с результатами исследования водонепроницаемости на приборе SERTO 461 был проведен расчет разницы в показаниях манометра, подключенного к указанным приборам, при проведении испытания мембранных текстильных материалов, содержащих губчатый пористый гидрофобный мембранный слой.

На рисунке 4.4 схематично показано положение образца материала в момент проникания воды через образец при использовании разработанного прибора (а) и прибора SERTO 461(б), используемого для сличения в качестве эталона.

При испытании материала на *разработанном приборе* прогиб образца исключен, площадь образца остается неизменной (рис. 4.4 а). При ином конструктивном решении узла зажима (рис. 4.4 б) в процессе испытания образец прогибается на величину ***h***, которая зависит от упругости и растяжимости образца. Площадь образца, испытывающего действие давления воды ***P***, увеличивается за счет увеличения диаметра образца (первоначальный диаметр D_1 изменится до значения D_2), а толщина уменьшается при исключении проскальзывания материала в зажимах прибора. Уменьшение толщины мембраны происходит за счет искривления стенок пор губчатой структуры полимера (пора расширяется). Имеет место разрежение структуры полимера. Для простоты расчетов условимся, что площадь срединного сечения пор увеличивается, а площадь срединного сечения полимера остается неизменной.

Витебский государственный технологический университет

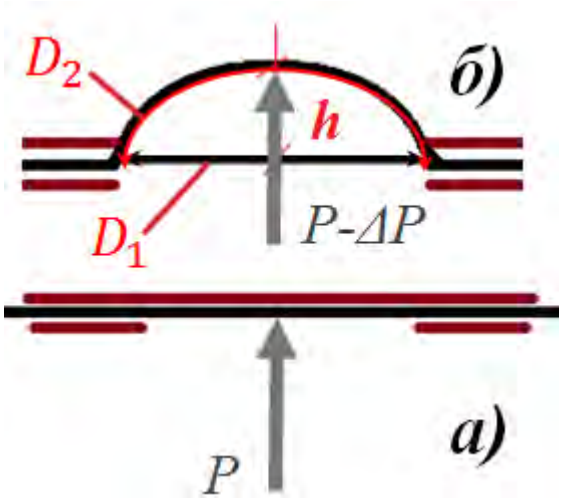


Рисунок 4.4 – Положение образца при использовании различных узлов зажима: а) образец в узле зажима разработанного прибора; б) образец в узле зажима прибора с визуальным контролем проникания воды

Рассмотрим случай испытания на эталонном *приборе SERTO 461*.

Пусть $\boldsymbol{S_н}$ – площадь срединной секущей плоскости участка материала, попадающего в рабочую зону измерительной ячейки, в начале испытания. Поскольку высокая водонепроницаемость обеспечивается мембранным полимерным слоем, условно примем допущение, что рассматриваемый участок материала состоит только из мембраны, имеющей губчатую пористую структуру. При этом проникание воды через материал всегда происходит через пору наибольшего диаметра. Допустим, что диаметр всех пор равен диаметру наибольшей поры, а количество пор на площади образца – количеству крупных пор, сопоставимых по размеру с наибольшей, наблюдаемых в сечении мембраны. Тогда геометрической моделью сечения образца будет плоскость с нанесенными на неё окружностями, изображающими поры. Диаметр окружностей равен диаметру наибольшей поры, наблюдаемой в сечении мембраны под микроскопом, количество пор на единицу площади – количеству наблюдаемых в микроскоп крупных пор. Площадь модели сечения образца определяется по формуле (4.14)

$$S_н = S_1 + S_2, \tag{4.14}$$

где $S_н$ – площадь модели сечения образца в начале испытания, мкм^2; S_1 – площадь модели сечения, занятая полимером, мкм^2; S_2 – площадь модели сечения, занятая воздухом пор, мкм^2.

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 4.5 поясняет принятые при теоретическом моделировании допущения.

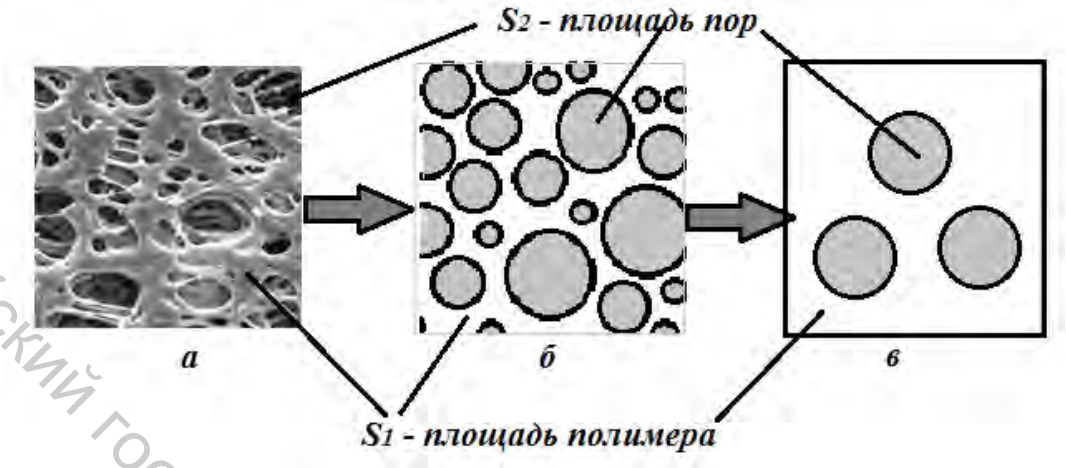


Рисунок 4.5 – Схематичное изображение допущений, принятых в теоретической модели сечения образца: а) микрофотография среза мембраны; б) аппроксимация контуров пор окружностями; в) модель сечения образца

До начала испытания, когда образец в зажимном устройстве расположен горизонтально, площадь $\boldsymbol{S_н}$ модели сечения образца определяется как площадь круга по известной формуле (4.15)

$$S_н = \pi \cdot r^2, \tag{4.15}$$

где π – константа, π = 3,14; $\boldsymbol{r}$ – радиус рабочей зоны измерительной ячейки, мкм.

После приложения давления и образования прогиба величиной $\boldsymbol{h}$ в момент проникания воды через поры материала площадь поверхности образца увеличивается. Новая площадь модели сечения образца в конце испытания $\boldsymbol{S_к}$ определяется как площадь поверхности сферического сегмента высотой $\boldsymbol{h}$, опирающегося на основание радиуса $\boldsymbol{r}$ по формуле (4.16):

$$S_к = \pi \cdot \left(h^2 + r^2\right) \quad , \tag{4.16}$$

где $S_к$ – площадь модели сечения образца в конце испытания, мкм^2; h – величина прогиба образца, мкм.

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 4.6 поясняет расчеты.

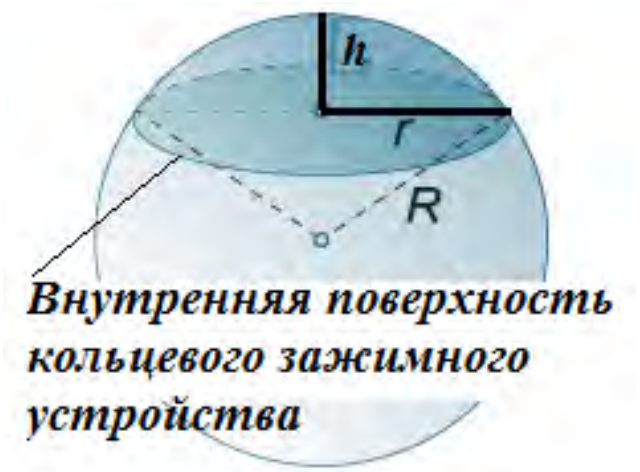


Рисунок 4.6 – Модель сечения образца, зажатого в традиционном устройстве эталонного прибора SERTO 461, в момент проникания воды

Тогда увеличение площади ***ΔS*** определяется из (4.17)

$$\Delta S = \pi \cdot \left(h^2 + r^2\right) - \pi \cdot r^2 = \pi \cdot h^2, \qquad (4.17)$$

где ΔS – увеличение площади модели сечения образца после испытания, мкм^2.

Ранее условились, что изменение площади модели сечения образца на величину ***ΔS*** происходит только за счет увеличения площади сечения, занятой воздухом пор $\boldsymbol{S_2}$, которая при числе $\boldsymbol{k}$ пор на единицу площади рассчитывается как сумма площадей $(\boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{S_н})$ пор условно постоянного и одинакового диаметра $\boldsymbol{d_1}$ в начале испытания и диаметра $\boldsymbol{d_2}$ в конце испытания. Тогда ***ΔS*** можно рассчитать через значения начального и конечного диаметра пор по формуле (4.18)

$$\Delta S = \frac{1}{4} \cdot \pi^2 \cdot k \cdot r^2 \cdot \left(d_2^2 - d_1^2\right), \qquad (4.18)$$

где k – число пор, приходящихся на единицу площади модели сечения образца, мкм$^{-2}$; d_2 – диаметр поры в конце испытания, мкм; d_1 – диаметр поры в начале испытания, мкм.

Приравнивая (4.17) и (4.18), находим диаметр пор $\boldsymbol{d_2}$ в конце испытания по формуле (4.19)

Витебский государственный технологический университет

$$d_2 = \sqrt{d_1^2 + \frac{4 \cdot h^2}{\pi \cdot k \cdot r^2}}. \qquad (4.19)$$

Рассчитаем давление, необходимое для проникания воды через пору при различных конструктивных особенностях узла зажима образцов, используя известное выражение условия проникания жидкости через идеальную пору (формула Лапласа) (4.20)

$$P = 4 \cdot \sigma \cdot \cos\varphi / d, \qquad (4.20)$$

где φ – краевой угол смачивания (в момент проникания жидкости в пору $\varphi = 0^o$); σ – коэффициент поверхностного натяжения на границе жидкость-воздух, дин/см. Для воды при температуре 20 °С σ = 72 дин/см; d – диаметр поры, мкм; P – давление, необходимое для проникания жидкости через пору, см. рт. ст.

В случае использования воды уравнение (4.20) приобретает вид (4.21)

$$P = \frac{c}{d}, \qquad (4.21)$$

где c – константа, $\boldsymbol{c}$ = 221,3 мкм·см рт. ст. [21].

Тогда, подставляя значение $\boldsymbol{d_1}$ и $\boldsymbol{d_2}$ в (4.21), получим формулу (4.22) для расчета искажения $\boldsymbol{\Delta P}$ значения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания при проведении испытаний на эталонном (с прогибом образца) приборе

$$\Delta P = c \cdot \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right), \qquad (4.22)$$

где ΔP – искажение значения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания, при использовании приборов, допускающих прогиб образца во время испытания, см рт. ст.

Учитывая выражение (4.21) и необходимость представления результата исследования в единицах системы СИ (МПа), перепишем (4.22) в окончательном виде (4.23)

Витебский государственный технологический университет

$$\Delta P = c \cdot \gamma \cdot \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + \frac{4 \cdot h^2}{\pi \cdot k \cdot r^2}}} \right), \qquad (4.23)$$

где γ=1,333·10^{-3} (МПа / см рт. ст.) – коэффициент перехода к единицам системы СИ; d_1 – средний диаметр пор мембранного слоя КСТМ (по результатам микроскопии образцов), мкм; r – радиус рабочей зоны измерительной ячейки эталонного прибора, мкм; k – среднее количество пор на единицу площади образца (определяется по результатам микроскопии образцов), мкм$^{-2}$; h – величина прогиба образца при испытании на эталонном приборе, мкм.

Таким образом, используя полученную формулу (4.23), можно рассчитать разницу давлений, при которых происходит проникание воды через материал, и сравнить показания манометра, подключенного к прибору SERTO 461 и разработанному прибору, учитывая, что приборы создают различные условия испытания образца [22].

Характеристика испытанных образцов представлена в таблице 4.6. В таблице 4.7 представлены данные расчета значения искажения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания при проведении испытаний материалов, содержащих пористый гидрофобный губчатый мембранный слой, на приборе с прогибом образца. Радиус измерительной ячейки эталонного прибора SERTO 461 r = 57000 мкм.

Диаметр наибольшей поры мембранного слоя и количество пор на единицу площади до испытания определяли по микрофотографии продольного сечения мембранного слоя. Величину прогиба образца – с помощью специально разработанного в лаборатории испытания материалов ОАО «Моготекс» устройства.

Таблица 4.6 – Характеристика образцов

Номер образца / тип	Общая толщина, мкм	Толщина гидрофобной мембраны, мкм	Толщина текстильной основы / подкладки, мкм	Начальный диаметр наибольшей поры, мкм	Количество пор на единицу площади, k, мкм$^{-2}$
1/1	259,8	52,1	200,4	30	0,0002
2/1	250,4	64,5	186,0	68	0,0001
3/1	239,9	63,3	169,4	38	0,0001
4/1	265,5	55,8	214,8	22	0,0001
5/1	226,0	50,6	161,7	36	0,0002
6/5	358,8	14,9	173,9 / 171,6	3	0,05
7/5	344,9	16,1	162,0 / 144,8	3	0,15

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.7 – Расчет искажения значения максимального гидростатического давления, выдерживаемого образцом без промокания

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7
Величина прогиба образца, *h*, мкм	29000	26000	18000	24000	25000	40000	25000
Искажение значения максимального гидростатического давления, ΔP, МПа / мм в. ст.	0,0020/ 203,9	0,0004/ 40,8	0,0011/ 112,2	0,0039/ 397,7	0,0012/ 122,4	0,0174/ 1774	0,0039/ 397,7

В таблице 4.8 отражены результаты испытаний, проведенных параллельно с помощью прибора SERTO 461 и разработанного прибора. Для удобства сопоставления результатов исследования значения давления приведены в МПа и мм в. ст.

Данные таблицы 4.8 подтверждают теоретические расчеты, выполненные ранее, и позволяют сделать вывод о сходимости результатов исследования. Кроме того, прибор SERTO 461 не позволяет измерять давление свыше 10 000 мм в. ст., поэтому значения уровня давления вблизи максимально возможной величины могут быть неточными. Отклонение фактической величины от расчетной составляет не более 10,4 %.

При проведении испытаний на приборах типа SERTO 461, допускающих прогиб материала в зажимном устройстве, невозможно сравнить результаты испытания материалов с различной деформационной способностью из-за разной величины прогиба материалов, а, следовательно, и существенной разницы в увеличивающемся пропорционально прогибу диаметре пор. Результаты теоретических расчетов, подтвержденные экспериментально, показали, что на точность определения уровня водонепроницаемости значительное влияние оказывает первоначальный размер пор мембранного слоя и величина прогиба образца во время испытания. Для образцов (например, образец № 6 в таблице 4.6), обладающих высокой растяжимостью, величина прогиба образца в кольцевых зажимах традиционных приборов может достигать 4 см, что приводит к значимому искажению результата измерения, составляющему около 20 % измеряемой величины.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.8 – Результаты параллельных испытаний

Номер образца	Показание манометра прибора в момент проникания воды, мм в. ст.		Разница показаний манометров, ΔP, мм в. ст.		Отклонение, %
	SERTO 461	Разработанный прибор	Расчетная	Фактическая	
1	10 000	10 200	203,9	200	2,1
2	7 700	7 750	40,8	50	10
3	8 850	8 970	112,2	120	10,4
4	10 000	10 400	397,7	400	0,5
5	2 850	2 960	122,4	110	7,9
6	8 400	10 200	1774	1800	1,1
7	10 000	10 400	397,7	400	0,7

Применение описанного выше расчета разницы в показаниях манометра при различных условиях испытания невозможно для КСТМ, содержащих монолитный мембранный слой. Проникновение воды на изнаночную сторону образца при приложении гидростатического давления в этом случае происходит не за счет расширения пор и продавливания воды через пористую структуру, а вследствие разрушения тонкого монолитного гидрофильного слоя, который воспринимает приложенную нагрузку. Кроме механических сил, в данном случае возникает и химическое взаимодействие гидрофильного полимера мембраны с водой – полимер набухает, происходит его омыление, в результате чего возникают микротрещины и изменяются прочностные характеристики [23, 24]. Различные условия испытания и в случае исследования водонепроницаемости материалов, содержащих гидрофильный монолитный мембранный слой, играют значительную роль. При возникновении прогиба образца во время испытания нарушение структуры таких КСТМ происходит быстрее.

Для сопоставления результатов исследования водонепроницаемости КСТМ с монолитным гидрофильным слоем применялся иной способ: водонепроницаемость образцов материалов соответствующей структуры исследовалась на приборе SERTO 461, в результате чего образцы деформировались, а в их структуре произошли необратимые изменения. Места появления капель воды на рабочем участке образца отмечались шариковой ручкой. Затем те же образцы были исследованы на разработанном приборе с подключением того же манометра. В связи с меньшим размером измерительной ячейки разработанного прибора, образцы устанавливались в зажимное устройство так, чтобы отмеченные участки попали в рабочую зону.

Характеристика испытанных образцов представлена в таблице 4.9.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.9 – Характеристика мембранных текстильных материалов с монолитным гидрофильным слоем

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав основы / мембраны	Поверхностная плотность, г/м^2	Количество слоев (тип)
8	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ	211	2,5 (тип 2)
9		ПЭ / ПУ	185	
22		(ПЭ, ХЛ) / ПУ	266	
10	Taslan, Корея	ПЭ / ПУ	139	
11	Hipora, Корея	ПЭ / ПУ	136	2,5 (тип 3)
12			137	
13			132	

Результаты последовательных испытаний представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты последовательных испытаний

Номер образца	Водонепроницаемость, мм в. ст.		Отклонение, %
	SERTO 461	Разработанный прибор	
8	4900	5000	2
9	4930	5000	1,4
10	9890	10000	1,1
11	8000	8000	0
12	10000	10000	0
13	7800	8000	2,6
22	4500	4500	0

Анализ данных таблицы 4.10 показывает, что результаты исследования сопоставимы, а отклонение составляет не более 2,6 %.

Ниже представлены результаты исследования водонепроницаемости материалов для водозащитной одежды, выполненные с помощью различных приборов [25]. Характеристика образцов материалов представлена в таблице 4.11.

В таблице 4.12 представлены результаты испытаний. Для образцов, результатом исследования которых является значение гидростатического давления свыше 10 000 мм. в. ст., в протоколе испытаний на приборах типа SERTO 461 указано значение «>10 000» из-за ограничений конструкции прибора, а для исследования образцов материалов с водонепроницаемостью до 1 500 мм в. ст. применялся пенетрометр. Тогда как испытания и тех, и других материалов с помощью разработанного прибора возможны за счет смены манометров с различным пределом измерений.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 4.11 – Характеристика мембранных текстильных материалов

Номер образца	Фирма-изготовитель	Сырьевой состав основы / мембраны	Поверхностная плотность, г/м^2	Характеристика структуры: количество слоев (тип)
14	ОАО «Моготекс», РБ	ПЭ / ПУ/ ПЭ	214	3 (тип 4)
15	SportchiefR, Канада	ПЭ / ПУ/ ПЭ	121	3 (тип 5)
16			272	
17			202	
18	Ultrex, Корея	ПЭ / ПУ	142	2 (тип 1)
19			117	
20	ОАО «Моготекс», РБ		157	
21			171	
23		ПЭ / ПУ / ПЭ	183	3 (тип 4)
24		ПЭ, сплошное ПУ изнаночное покрытие	138	ткань плащевая с пленочным покрытием
25			75	
26	ОАО «ВКШТ»	ПЭ, ВО пропитка	226	ткань плащевая с водоотталкивающей пропиткой

Анализ данных таблицы 4.12 показывает, что отклонение результатов исследования материалов с повышенной водонепроницаемостью (свыше 10 000 мм в. ст.) недопустимо велико, что говорит о невозможности применения прибора SERTO 461 для исследования образцов под номерами 14–19. При использовании пенетрометра и разработанного прибора для исследования материалов с невысоким уровнем водонепроницаемости снова наблюдается сопоставимость результатов с максимальным отклонением 9,5%, обусловленным разницей в условиях зажима образца во время испытаний.

В условиях эксплуатации водонепроницаемых материалов не возникает таких ситуаций, когда ограниченный участок материала зажат по периметру и испытывает возрастающее гидростатическое давление. Тем не менее такие условия моделируют практически все известные средства определения водонепроницаемости текстильных материалов. Разработанный прибор, напротив, лишен этого недостатка и позволяет проводить испытание образца материала в условиях, когда гидростатическое давление действует на материал и опорную

Витебский государственный технологический университет

поверхность под ним так, как это происходит в реальных условиях эксплуатации изделий. Поэтому результаты исследования, полученные с помощью разработанного прибора, обеспечат объективное представление о свойствах материала.

Таблица 4.12 – Исследование водонепроницаемости текстильных материалов различными приборами

№ образца	Водонепроницаемость, мм в. ст.			Отклонение, %
	Приборы ОАО «Моготекс»		Разработанный прибор	
	Пенетрометр	SERTO 461		
14	-	>10 000	18 000	80
15	-	>10 000	11 000	10
16	-	>10 000	12 000	20
17	-	>10 000	11 500	15
18	-	>10 000	14 000	40
19	-	>10 000	12 500	25
20	780	-	800	2,6
21	710	-	750	5,6
23	-	5000	5000	0
24	650	-	650	0
25	1005	-	1100	9,5
26	780	-	800	2,6

Таким образом, с помощью разработанного прибора можно провести испытания водонепроницаемости материалов в широком диапазоне гидростатических давлений. Разработанный прибор позволяет проводить испытание образцов малого размера, без их вырезания, что значительно упрощает процесс испытания и обеспечивает возможность определения водонепроницаемости материала после воздействия многоцикловых нагрузок при лабораторном моделировании износа или после эксплуатационных воздействий без необходимости нарушения целостности исследуемого изделия.

Наличие такого прибора на предприятиях, выпускающих или перерабатывающих водозащитные материалы, позволит упростить процедуру контроля качества материалов, снизить стоимость испытаний, обеспечит возможность оперативного неразрушающего контроля качества водозащитных изделий, находящихся в эксплуатации.

Таким образом, подытоживая сказанное выше, можно сделать следующие выводы.

Витебский государственный технологический университет

На основе анализа современных методов и средств исследования водонепроницаемости текстильных материалов разработана конструкция прибора для определения водонепроницаемости текстильных материалов методом высокого гидростатического давления. Изготовлен портативный прибор малой энергоемкости, позволяющий осуществлять исследование водонепроницаемости текстильных материалов в условиях, исключающих прогиб и проскальзывание образца [20].

Разработана методика исследования водонепроницаемости текстильных материалов с использованием разработанного прибора, позволяющая проводить испытания без разрушения и деформации образца. Выполнены сличительные испытания и проведено сопоставление результатов исследования водонепроницаемости на различных приборах. Проведен теоретический расчет разницы в показаниях манометра при использовании приборов, обеспечивающих различные условия испытания. Показано, что прогиб образца, возникающий во время испытания на существующих приборах с типовой конструкцией зажимного устройства, влияет на результат измерения. Экспериментально установлено, что разработанный прибор позволяет получать сопоставимые с расчетными значения величины гидростатического давления. Прибор моделирует условия проведения испытания, соответствующие условиям эксплуатации материалов.

С помощью разработанного прибора проведено исследование водонепроницаемости образцов КСТМ, подвергшихся испытанию на приборе, допускающем прогиб образца. Установлена высокая сходимость результатов последовательных испытаний [17]. Конструкция разработанного прибора позволяет проводить исследование водонепроницаемости материалов методом высокого гидростатического давления и обеспечивает преемственность испытаний за счет малого размера измерительной ячейки, может применяться для оценки водонепроницаемости участков швейных изделий без нарушения их целостности.

Витебский государственный технологический университет

Литература

1. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия : ГОСТ Р 57514-2017. ; введ. 01.04.2018. – М. : Стандартинформ, 2017. – 24 с.

2. Жихарев, А. П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности: учеб. пособие / А. П. Жихарев, Б. Я. Краснов, Д. Г. Петропавловский. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 464 с.

3. Официальный сайт научно-исследовательского института текстильных материалов «Hohenshtein» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.hohenstein.de/en/testing/textile_testing/textile_ testing_1.xhtml. – Дата доступа: 21.09.2014.

4. Полотна текстильные. Методы испытания дождеванием : ГОСТ 30292-96 = ИСО 4920-81. – Введ. 01.07.1999. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 6 с.

5. Материалы текстильные. Водостойкость. Испытания на устойчивость к воздействию дождя. Воздействие горизонтальных водяных брызг : ГОСТ Р ИСО 22958-2011. – Введ. 12.09.2011. – М. : Стандартинформ, 2012. – 6 с.

6. Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. Общие технические условия : ГОСТ 28486-90. – Взамен ГОСТ 11517-83, ГОСТ 7779-79, ГОСТ 9202-87, ОСТ 17-479-84; введ. 01.07.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 8 с.

7. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками : ГОСТ 14254-96. – Взамен ГОСТ 14254-80 ; введ. 12.04.96. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 36 с.

8. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости : ГОСТ 413-91 = ИСО 1420-87. – Взамен ГОСТ 413-75 ; введ. 27.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 6 с.

9. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для ВУЗов / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

10. Зурабян, К. М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: учебник для ВУЗов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, Я. И. Пустыльник. – М. : Академия, 2003. – 384 с.

11. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств : ГОСТ 3816-81. – Взамен ГОСТ 3816-61 ; введ. 01.07.1982. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 14 с.

12. Материалы текстильные. Метод испытания водоупорности. Испытание гидростатическим давлением : ГОСТ Р 51553-99 = EN

Витебский государственный технологический университет

20811-92 ; введ. 01.01.2001. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 4 с.

13. Кожа. Физические и механические испытания. Метод определения давления, необходимого для проникновения воды : ГОСТ Р ИСО 17230-2015. ; введ. 30.06.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 6 с.

14. Официальный сайт предприятия «Метротекс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.metrotex.ru/. – Дата доступа: 08.12.2016.

15. Официальный сайт предприятия «Quailitest» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.worldoftest.com/textile.htm. – Дата доступа: 08.12.2016.

16. Официальный сайт предприятия «UGNlabCo. Ltd» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ugnlab.ru. – Дата доступа: 08.12.2016.

17. Панкевич, Д. К. Оценка эксплуатационных свойств композиционных слоистых текстильных материалов для водозащитной одежды: дис. … канд. техн. наук: 05.19.01 / Д. К. Панкевич ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 244 с.

18. 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.

19. 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 ноября 2015 г. / Белорус. нац. технич. ун-т. – Минск, 2015. – С. 74–78.

20. Прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления: полезная модель BY10690 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна; дата публ. 30.06.2015.

21. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения : ГОСТ 8.10-2013. – Введ. 01.03.2015. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 28 с.

22. Панкевич, Д. К. Проблемы исследования водопроницаемости текстильных материалов / Д. К. Панкевич, Е. И. Ивашко // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – С. 158.

23. Зуев, Ю. С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред / Ю. С. Зуев. – М. : Химия, 1972. – 232 с.

Витебский государственный технологический университет

24. Гидрофобизация / А. А. Пащенко [и др.]. – Киев : Навукова думка, 1973. – 236 с.

25. 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 ноября 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 78–79.

Витебский государственный технологический университет

ГЛАВА 5
ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУР В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Условия эксплуатации текстильных материалов для изделий легкой промышленности таковы, что материалы подвергаются небольшим по величине многократным механическим и физико-химическим воздействиям, которые очень редко доводят материал до разрушения. Возникающие при этом глубокие структурные изменения приводят к появлению нежелательных дефектов и, как следствие, к изменению уровня свойств материалов. В связи с этим наиболее актуально изучение стабильности уровня водонепроницаемости КСТМ при воздействии на них истирания, многоцикловых нагрузок, вызывающих растяжение и изгиб [1, 2], стирки, пониженных температур.

Лабораторные установки, использующиеся для исследования эксплуатационных свойств материалов, весьма разнообразны и различаются по условиям и видам нагружения, а также количеству одновременно моделируемых факторов воздействия и одновременно испытываемых образцов. Для материалов, имеющих полимерный слой, стандартными являются испытания на устойчивость к многократному изгибу [3], при которых материал подвергается сложному пространственному изгибу, формируя «бегущую складку», изменяющую свое положение в процессе испытания. Количество одновременно испытываемых на приборе образцов материала – 16.

К недостаткам описанного метода можно отнести визуальный контроль нарушения структуры образцов и малый размер образца, не позволяющий исследовать водонепроницаемость подвергнутого многоцикловым воздействиям образца стандартными приборами.

Одним из устройств, моделирующих знакопеременную циклическую деформацию изгиба и растяжения, позволяющих испытывать не только материалы, но и соединения материалов на устойчивость к эксплуатационным нагрузкам, является прибор для оценки эксплуатационных показателей качества тканей для верха обуви [4]. Этот прибор позволяет создавать различные по величине нагрузки на исследуемый материал, однако не позволяет одновременно испытывать несколько образцов, что отрицательно сказывается на экономичности методики испытания.

Из литературных источников известно, что КСТМ неустойчивы к стиркам. При исследовании влияния стирок на материалы с полимерным покрытием И. В. Кузьминой установлено снижение

Витебский государственный технологический университет

водонепроницаемости и водоотталкивания материалов, схожих по структуре с КСТМ, уже после 4 стирок [5]. Исследования влияния стирок на свойства КСМ предпринимались ведущими лабораториями Японии и США [6, 7] (страны, в которых организовано производство высококачественных КСТМ). При испытаниях должны соблюдаться требования производителей к условиям стирки: температура воды – не более +30 ^{o}C; использование жидкого моющего средства; отсутствие отжима; сушка в горизонтальном положении вдали от источников тепла [7, 8]. Стирка проводится в стиральных машинах барабанного типа. В научно-исследовательской лаборатории фирмы Gore-Tex применяется метод исследования устойчивости КСМ к стиркам при воздействии на материалы непрерывной стирки в течение определенного времени. Показателем устойчивости к стиркам является время непрерывной стирки (в среднем 200 часов), в течение которого не происходит снижение водонепроницаемости [8]. Чаще указывают показатель количества стирок, после которого гарантирован стабильный уровень водонепроницаемости и водоотталкивания.

Ниже представлена таблица 5.1, в которой отражены данные о стабильности свойств КСТМ производства фирмы TORAY (Япония). Все представленные в таблице артикулы мембранных материалов выработаны с применением полиэфирных текстильных основ и полиэфируретановых мембран.

Таблица 5.1 – Свойства КСТМ фирмы TORAY (Япония) [6]

Наименование	Тип	Водонепроницаемость, мм в. ст.		Водоотталкивание, баллы		Паропроницаемость, г/м^2/24 часа, (по JIS L 1099 (A2))
		до стирки	после 10 стирок	до стирки	после 10 стирок	
Entrant*HB	3 пор+мон	20000	20000	100	80	6000
Entrant*W	1	20000	15000	100	80	10000
Entrant*V	1	10000	7000	100	80	10000
EntrantGII*	1	5000	3500	100	80	8000
Entrant*DT	1	10000	7000	100	80	8000
Dermizax*MP	5пор	20000	13000	100	80	10000
Dermizax*EV	5мон	20000	20000	100	80	4000

В таблице 5.1 использовано обозначение структурных типов КСТМ, предложенное в разделе 1.2 ГЛАВЫ 1 в монографии, и следующие индексы: пор – пористый мембранный слой; мон – монолитный мембранный слой.

Витебский государственный технологический университет

Водозащитные свойства материалов после многократных стирок снижаются: все проанализированные в таблице 5.1 материалы показали снижение водоотталкивания на 20 баллов после 10 стирок и практически все (кроме двух артикулов) характеризуются значительным (на 25–30 %) снижением водонепроницаемости. КСТМ, сохранившие первоначальный уровень водонепроницаемости, по способу получения являются ламинатами, то есть получены переносным способом, и содержат монолитную гидрофильную мембрану.

Для проведения стирки при оценке устойчивости свойств материалов к воздействию стирок использовали методику, изложенную в ГОСТ ISO 6330-2011 «Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний» [9].

Влияние пониженных температур на свойства материалов для одежды исследуется с использованием криокамер различного объема, часто с установкой внутри криокамеры устройств для одновременного многоциклового нагружения материала (в основном, изгиба и растяжения). При этом с помощью устройств, размещенных внутри криокамеры, моделируют в основном изгиб или изгиб и трение (при использовании метода протаскивания образца через щель). Критерием морозостойкости считается изменение уровня водонепроницаемости КСТМ.

В научно-исследовательской лаборатории фирмы Gore-Tex для оценки эксплуатационных свойств КСТМ, содержащих мембранный слой, применяется оригинальная испытательная установка, позволяющая осуществлять неориентированное смятие образцов, дополнительно подвергающихся действию брызг воды, направляемых под различными углами, обдуву и действию пониженных температур. Критерием устойчивости КСТМ к комбинированному нагружению является сохранение уровня водонепроницаемости [8]. Такие испытания могут быть проведены только в специализированных лабораториях и недоступны для реализации на территории Республики Беларусь в связи с отсутствием соответствующей нормативной и приборной базы. Однако они обеспечивают наибольшую приближенность результатов лабораторных исследований к результатам опытных носок.

Вопросами оценки степени приближенности результатов реальной эксплуатации изделий из текстильных материалов и лабораторного моделирования носки занимались Б. А. Бузов, К. Г. Гущина, А. Н. Махонь [4, 10, 11]. Важность этой задачи подчеркивает А. Ф. Давыдов: «Проведение опытных носок необходимо потому, что они дают очень важные сведения … для сравнения результатов изнашивания в условиях эксплуатации и условиях лаборатории» [12].

Моделирование износа должно максимально приближать условия испытания к эксплуатационным, поскольку только в этом случае

Витебский государственный технологический университет

возможно достоверное прогнозирование изменчивости свойств материалов.

В условиях отсутствия в Республике Беларусь нормативной базы оценки эксплуатационных свойств КСТМ, содержащих мембранный слой, актуальной является задача подбора таких способов лабораторного моделирования эксплуатационного износа, при которых становится возможным воссоздание условий эксплуатации материалов доступными стандартными методами и средствами. Решение этой задачи может быть основано на последовательном применении методов оценки устойчивости материалов для одежды к воздействию различных факторов с обеспечением преемственности испытаний, обусловленной неразрушающими методами контроля и размерами образцов. Такой подход описан, в частности, А. А. Кузнецовым в работе [13].

5.1 Исследование изменения водонепроницаемости материалов после моделирования механических эксплуатационных воздействий

Разработанный прибор для определения водонепроницаемости [14, 15, 16] и прибор для моделирования механических эксплуатационных воздействий [18, 17] были применены для исследования влияния многоциклового изгиба, кручения, сжатия и растяжения на структуру и водонепроницаемость КСТМ [19]. Методика выполнения измерений разработана авторами монографии и изложена в источниках [14, 18]. Характеристика испытанных образцов представлена в таблицах 2.1 и 2.2 ГЛАВЫ 2 монографии.

Результаты исследования представлены в виде графиков изменения водонепроницаемости КСТМ различных структур относительно начального её значения. Анализ результатов исследования (рис. 5.1) показывает, что водонепроницаемость **трехслойных КСТМ структурных типов 4 и 5** с увеличением количества циклов нагружения снижается. Наибольшее снижение водонепроницаемости после 150 тысяч циклов нагружений (до 0,21 относительно начального значения) показал образец № 23 (структурный тип 4, имеющий корпускулярный мембранный слой). Средними значениями относительной водонепроницаемости (0,27 и 0,24) обладают трехслойные КСТМ с малой толщиной мембраны, в которых соединение текстильных слоев и мембраны производится с помощью точечно нанесенного на текстильную основу связующего (структурный тип 5). Лучше других образцов выдержал испытания образец № 14, принадлежащий к структурному типу 4.

Витебский государственный технологический университет

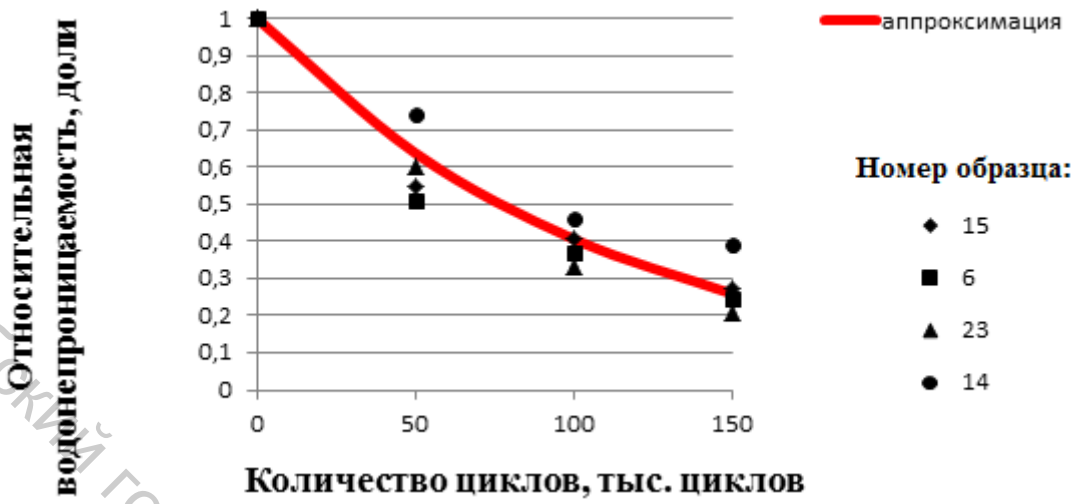


Рисунок 5.1 – График зависимости водонепроницаемости трехслойных КСТМ от количества циклов комбинированных механических нагружений

Характер кривых, построенных по результатам испытания у всех образцов, одинаков – с высокой достоверностью аппроксимации (R^2 от 0,96 до 0,98) кривые описываются графиком экспоненциальной функции, уравнение которой имеет вид: $y = a \cdot e^{b \cdot x}$. Учитывая физический смысл исследуемого процесса, коэффициент a равен 1. Достаточно точно (относительная средняя ошибка аппроксимации 13,2 %) все полученные результаты исследования описываются уравнением (5.1)

$$y = e^{-0,009 \cdot x}, \qquad (5.1)$$

где y – относительная водонепроницаемость после моделирования механических эксплуатационных воздействий, доли от единицы; x – количество циклов комбинированных механических нагружений, тысяч циклов; e – основание натурального логарифма.

График изменения водонепроницаемости **2,5-слойных КСТМ структурных типов 2 и 3**, представленный на рисунке 5.2, также показывает закономерное снижение водонепроницаемости в результате моделирования эксплуатационных нагрузок.

В случае материалов указанной структуры также наблюдается экспоненциальный характер кривых снижения показателя относительной водонепроницаемости с ростом количества циклов нагружения.

Витебский государственный технологический университет

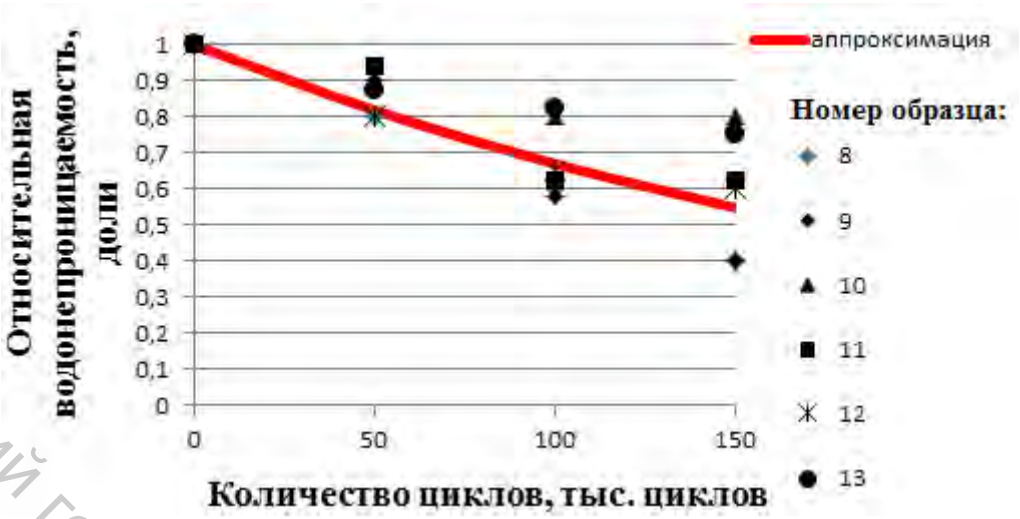


Рисунок 5.2 – График зависимости водонепроницаемости 2,5-слойных КСТМ от количества циклов комбинированных механических нагружений

Достаточно точно (относительная средняя ошибка аппроксимации 11,7 %) все полученные результаты исследования описываются уравнением (5.2)

$$y = e^{-0,004 \cdot x}, \tag{5.2}$$

где y – относительная водонепроницаемость после моделирования механических эксплуатационных воздействий, доли от единицы; x – количество циклов комбинированных механических нагружений, тысяч циклов; e – основание натурального логарифма.

Корреляционный анализ показателей структуры и относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов показал отрицательную линейную корреляцию этого показателя с общей толщиной КСТМ (коэффициент корреляции $r_к = -0,84$). Таким образом, водонепроницаемость 2,5-слойных КСТМ большей толщины после моделирования эксплуатационных нагрузок снижается значительнее.

Интенсивнее всего снижается водонепроницаемость 2,5-слойных КСТМ с крупнопористым мембранным гидрофобным слоем (образцы № 8 и № 9). СЭМ-изображение поперечного среза и поверхности образца № 9 показано на рисунках 2.11, 2.12 и 2.13 в ГЛАВЕ 2 монографии. Видны дефекты поверхности материала, полученные в процессе производства вследствие использования в текстильном слое нитей различной толщины. Утолщенные нити, перекрываясь, создают

Витебский государственный технологический университет

рельеф поверхности текстильной основы в виде квадратных ячеек. Хорошо виден эффект рельефности и на рисунке 2.7 (микрофотография поперечного среза образца № 9). Очевидно, что эти дефекты усугубились в процессе испытаний многоцикловым нагружением и привели к значительному снижению начального уровня водонепроницаемости.

Интересно, что и у образца № 8, текстильная основа которого выработана переплетением основный репс 2/2 (когда каждая нить основы перекрывает две нити утка), и обладает в связи с этим определенным рельефом поверхности, также интенсивно снижается уровень водонепроницаемости в процессе многоциклового нагружения.

Анализируя КСТМ, имеющие подобные переплетения текстильных основ, за рамками группы 2,5-слойных КСТМ структурных типов 2 и 3, обнаружили ещё два образца, обладающие таким же, как и у образца № 9 переплетением. Это образцы № 23 (относительная водонепроницаемость 0,2) и № 15 (относительная водонепроницаемость 0,27) структурных типов 4 и 5.

Следовательно, на стабильность уровня водонепроницаемости при моделировании эксплуатационных нагрузок влияет структура и переплетение текстильного слоя КСТМ.

Анализ рисунка 5.3 позволяет установить характер и закономерности изменения водонепроницаемости **2-слойных КСТМ структурного типа 1** в результате моделирования эксплуатационных воздействий.

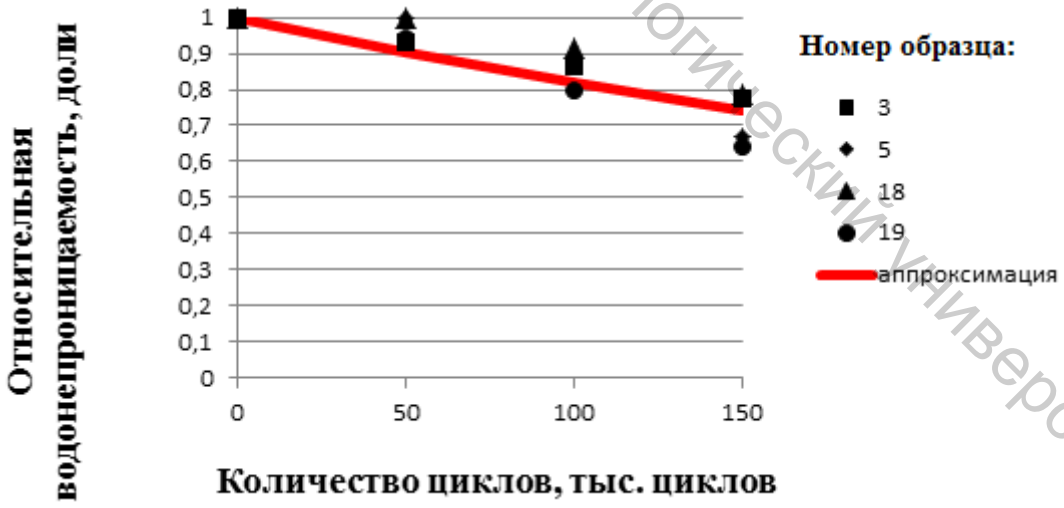


Рисунок 5.3 – График зависимости водонепроницаемости 2-слойных КСМ от количества циклов комбинированных механических нагружений

Витебский государственный технологический университет

Снижение водонепроницаемости 2-слойных КСТМ, полученных наносным способом (структурный тип 1), происходит под действием механических нагружений медленно. Разброс значений показателя относительной водонепроницаемости на отметке 150 тысяч циклов наименьший среди исследуемых структурных групп КСТМ – все материалы показали уровень относительной водонепроницаемости в диапазоне от 0,6 до 0,8 в конце испытания. Математической моделью процесса изменения водонепроницаемости КСТМ структурного типа 1 под действием механических нагружений можно считать уравнение (5.3), описывающее с небольшой относительной средней ошибкой аппроксимации ($\bar{A}$ = 6,6 %) общую тенденцию для двухслойных КСТМ, полученных наносным способом:

$$y = e^{-0,002 \cdot x}, \qquad (5.3)$$

где *y* – относительная водонепроницаемость после моделирования механических эксплуатационных воздействий, доли от единицы; *x* – количество циклов комбинированных механических нагружений, тысяч циклов; *e* – основание натурального логарифма.

Следовательно, структура 2-слойных КСТМ с губчатым мембранным слоем обеспечивает наименьшее снижение водонепроницаемости в результате моделирования эксплуатационных нагрузок в исследуемом диапазоне числа циклов нагружений.

После корреляционного анализа структурных показателей и относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов КСТМ, содержащих губчатый мелкопористый гидрофобный мембранный слой (образцы 3, 5, 6, 10, 11, 12,13, 18, 19), выявлено, что массив данных о толщине губчатого мембранного слоя положительно коррелирует с массивом данных относительной водонепроницаемости (коэффициент корреляции $r_к$ = 0,73 при выборке из 10 видов КСМ является значимым, поскольку больше критического значения для уровня значимости 0,05). Таким образом, при анализе влияния многоцикловых нагружений на водонепроницаемость двухслойных КСМ с губчатым мембранным слоем выявлено, что материалы этой структуры наиболее устойчивы к многократному изгибу, растяжению и кручению, причем эта устойчивость зависит от толщины мембранного слоя. Предположительно такое же влияние на водонепроницаемость после многоцикловых механических нагрузок оказывает толщина пористого губчатого мембранного слоя в КСТМ структурных типов 3 и 5.

Если анализировать информацию о результатах опыта без разделения на структурные группы в зависимости от числа слоев, то наблюдается большее снижение водонепроницаемости у образцов,

Витебский государственный технологический университет

содержащих корпускулярный мембранный слой в составе композита (среднее значение относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов воздействий 0,34). Образцы КСМ с толщиной губчатого мембранного слоя свыше 35 мкм показывают в среднем высокое значение относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов воздействий – 0,71. Материалы с толщиной мембранного слоя до 16 мкм характеризуются различной устойчивостью к многоцикловым нагрузкам, но есть предпосылки считать значимым наличие точечного связующего между слоями мембраны и подкладки, снижающего устойчивость водонепроницаемости к многоцикловым нагрузкам.

Для более детального анализа изменения структуры КСТМ в результате моделирования механических эксплуатационных воздействий была проведена микроскопия поперечных срезов образцов КСМ после 150 тысяч циклов комбинированных механических нагружений. Результаты этого исследования подробно описаны в источниках [14, 18, 20, 21, 22].

Проведенный микроскопический анализ структуры КСТМ после моделирования механических эксплуатационных воздействий и данные результатов эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. Более высокую стабильность водонепроницаемости после моделирования механических многоцикловых воздействий в диапазоне исследования от 0 до 150 000 циклов проявляют КСТМ с губчатым мембранным гидрофобным слоем толщиной более 35 мкм. Увеличение толщины мембранного слоя обеспечивает более высокие показатели относительной водонепроницаемости.

2. КСТМ, содержащие корпускулярный гидрофобный мембранный слой, проявляют невысокую стабильность структуры, быстро теряя уровень водонепроницаемости за счет отрыва и смещения корпускул внутри слоев композита.

3. Вид переплетения текстильного слоя влияет на стабильность показателя водонепроницаемости – текстильные слои с выраженной рельефностью поверхности придают композиту невысокий уровень стабильности водонепроницаемости при моделировании механических многоцикловых воздействий.

4. Трехслойные КСТМ, содержащие тонкий, менее 16 мкм, губчатый мембранный слой при моделировании механических многоцикловых воздействий теряют способность выдерживать высокое гидростатическое давление за счет наличия точечно нанесенного на мембрану связующего состава и разрушения мембраны вблизи этих точечных образований. Даже при отсутствии такого связующего между слоями, трехслойные КСТМ характеризуются неустойчивой к комбинированным механическим нагружениям структурой. Относительная водонепроницаемость этой группы материалов по результатам испытаний самая низкая.

Витебский государственный технологический университет

5. Водонепроницаемость КСТМ, содержащих монолитный гидрофильный мембранный слой, более стабильна при моделировании механических эксплуатационных воздействий в случае его комбинации с губчатым гидрофобным слоем, нежели с корпускулярным. Однако к концу испытания отмечена концентрация дефектов на границе раздела слоев двухкомпонентной мембраны.

5.2 Исследование изменения свойств мембранных текстильных материалов после стирки

Анализ литературных источников по вопросу исследования стабильности гигиенических свойств КСТМ после стирок показал, что по данным зарубежных производителей, материалы, полученные переносным способом (тип 2, тип 3, тип 5), лучше переносят стирки, чем КСТМ, полученные наносным способом (тип 1, тип 4) [6, 7, 8, 23, 24]. Влияние стирок на воздухопроницаемость и водоотталкивание описано в работах [25, 26]. Характеристика испытанных образцов представлена в таблицах 2.1 и 2.2 ГЛАВЫ 2 монографии.

Таблица 5.2 – Гигиенические свойства КСТМ до и после стирки

№ образ-ца	Воздухопроницаемость, $дм^3/с \cdot м^2$		Водоотталкивание, баллы	
	до стирки	после 5 стирок	до стирки	после 5 стирок
12	0	5,1	90	80
11	0	4,6	100	80
13	0	4,5	90	80
9	0	5,0	90	60
8	0	4,6	90	60
22	0	5,4	90	60
4	0	4,8	90	70
5	4,5	5,1	90	70
1	0	4,5	90	70
17	0	0,0	80	70
15	0	0,0	90	70
16	0	6,0	70	60

Для выполнения эксперимента применяли методику исследования водоотталкивания по ГОСТ 28486-90 «Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. Общие технические условия» и прибор FF-10; методику исследования воздухопроницаемости по ГОСТ 12088-77 «Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения

Витебский государственный технологический университет

воздухопроницаемости» и прибор ВПТМ-2; методику стирки по ГОСТ ISO 6330-2011 «Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний», в части определения режима стирки – на основании рекомендаций производителей одежды из КСТМ.

Выявлено значимое снижение уровня водооталкивания и увеличение воздухопроницаемости после 5 стирок.

Ранее отмечалось, что КСТМ скручиваются в очень плотный рулон при намачивании окунанием в воду. Рисунок 5.4 иллюстрирует нарушение структуры КСТМ. Степень деформации некоторых артикулов КСТМ под действием воды такова, что образец размером 50х50 мм свернется в трубочку диаметром 6–7 мм. На рисунке 3.2 в ГЛАВЕ 3 монографии изображена фотография КСТМ различных структурных типов после окунания в воду. К слову, эту особенность можно использовать для экспресс-теста на наличие гидрофильной монолитной либо гидрофобной мембраны в образце КСТМ при отсутствии данных о составе материала. Материал, содержащий гидрофильную мембрану, скручивается мембраной наружу (рис. 5.4 б), гидрофобную – наоборот (рис. 5.4 а). Это свойство негативно влияет на структуру и стабильность гигиенических характеристик КСТМ.

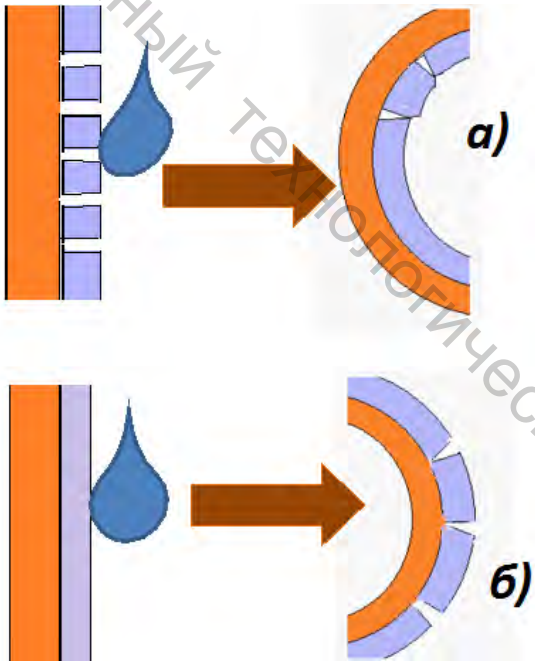


Рисунок 5.4 – Схема воздействия окунания в воду
на структуру КСТМ

Очевидно, что такое нарушение структуры не может оставаться без последствий для гигиенических свойств материала. Кроме того, на материалы в процессе стирки воздействует не только вода, но и растворенное в ней моющее средство.

Витебский государственный технологический университет

С целью установления степени влияния многократных стирок на водонепроницаемость КСТМ различных структур проведено исследование водонепроницаемости материалов и микроскопическое исследование их структуры после стирок.

Для определения устойчивости КСТМ к стиркам заготавливалось по 5 образцов каждого вида материала размером 20×20 см для исследования водонепроницаемости после 10, 15 и 20 стирок. Проводилась стирка по ГОСТ ISO 6330-2011 «Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний», метод 8А и сушка образцов по методу В [27]. Режим стирки устанавливался с учетом рекомендаций производителей мембранных материалов: стирка в машине с фронтальной загрузкой и горизонтальным барабаном в растворе жидкого синтетического моющего средства «Бонус» (концентрация 6 г/л) при температуре воды 30 ± 3 ^{o}C, время стирки – 3 минуты, время полоскания – 8 минут, без отжима. Использовался балласт из полиэфирного трикотажного полотна. Сушка образцов производилась вдали от источников тепла при комнатной температуре воздуха в горизонтальном положении.

Было принято решение об использовании моющего средства «Бонус» [28] для деликатных тканей белорусского производителя ОАО «БЗПИ». Это средство является обладателем гран-при международного конкурса «Лучшая продукция бытовой химии», проходившем в рамках выставки «Интербытхим»-2012. Средство не повреждает волокна, не изменяет оттенок и интенсивность окраски изделия, не содержит отбеливателей и фосфатов, свободно продается на территории РБ и может использоваться для стирки мембранных тканей. При выборе моющего средства учитывалась информация производителей КСТМ о недопустимости содержания хлора, фосфатов и отбеливателей в средствах ухода [29]. Допустимость применения средства «Бонус» для стирки КСТМ устанавливалась путем сопоставления этих требований и данных о составе, указанных на упаковке.

Материалы подвергали необходимому количеству циклов стирки и высушивания, а затем исследовали их водонепроницаемость с применением разработанного портативного прибора (ГЛАВА 4). Следующий цикл стирок проводили с применением того же набора образцов, что возможно ввиду малого размера участка, задействованного в определении водонепроницаемости при использовании портативного прибора. Результаты исследования стабильности показателя водонепроницаемости после стирок представлены на рисунках 5.5, 5.6 в виде графиков изменения относительной водонепроницаемости при увеличении количества стирок.

Параллельно проведены исследования изменения массы образцов и микроскопическое исследование поперечных срезов образцов,

Витебский государственный технологический университет

подвергнутых 20 циклам стирки и сушки. Результаты исследования динамики массы образцов КСТМ при наращивании количества стирок представлены в таблице 5.3. Характеристика испытанных образцов представлена в таблицах 2.1 и 2.2 ГЛАВЫ 2 монографии.

Таблица 5.3 – Динамика изменения массы и водонепроницаемости КСТМ после стирок

№ образ-ца	Свойство образца	до сти-рок	после 10 стирок	после 15 стирок	после 20 стирок
1	Масса образца, г	5,365	5,485	5,510	5,260
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	10200	6600	3400	2300
2	Масса образца, г	5,106	5,250	5,325	4,730
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	7750	5200	4000	1000
3	Масса образца, г	5,095	5,105	5,080	5,035
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	8970	5400	4600	2400
19	Масса образца, г	7,465	7,475	7,255	7,450
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	12500	6800	5000	3200
12	Масса образца, г	5,560	5,530	5,605	5,585
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	10000	10000	10000	6800
13	Масса образца, г	5,100	5,130	5,103	5,144
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	8000	7600	7200	6200
11	Масса образца, г	5,768	5,830	5,795	5,760
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	8000	8000	6400	4800
10	Масса образца, г	4,320	4,305	4,485	4,340
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	10000	10000	7600	6800
14	Масса образца, г	9,360	9,215	8,848	8,845
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	18000	15000	12000	8000
16	Масса образца, г	14,300	14,380	14,400	14,310
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	12000	12000	7200	4000
17	Масса образца, г	9,060	9,200	9,360	9,560
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	11500	11000	8400	5000
7	Масса образца, г	5,920	5,875	5,880	5,780
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	10400	8400	6000	5400
6	Масса образца, г	6,685	6,695	6,635	6,675
	Водонепроницаемость, мм в. ст.	10200	3200	0	0

По данным таблицы 5.3 заметно, что масса КСТМ в основном незначительно снижается после 20 стирок (утверждение справедливо для девяти образцов из тринадцати). Это говорит о том, что материалы с гидрофобной пористой мембраной в процессе стирок теряют часть элементов структуры. Исключение составляют несколько образцов (№ 10, 12), содержащих двухкомпонентную гидрофобно-гидрофильную

Витебский государственный технологический университет

мембрану, для которых значения массы колеблются в пределах ошибки опыта, и двух образцов структурного типа 5 (№ 16 и № 17), содержащих текстильные слои, выработанные из высокообъемных текстурированных нитей.

Микроскопия поперечных срезов КСТМ до и после стирок представлена на рисунках 5.5, 5.6, 5.7. В верхней части рисунка показана микрофотография среза материала до стирок, в нижней – после 20 циклов стирок. На некоторых изображениях видны особенно значительные дефекты структуры, обведенные прямоугольниками.

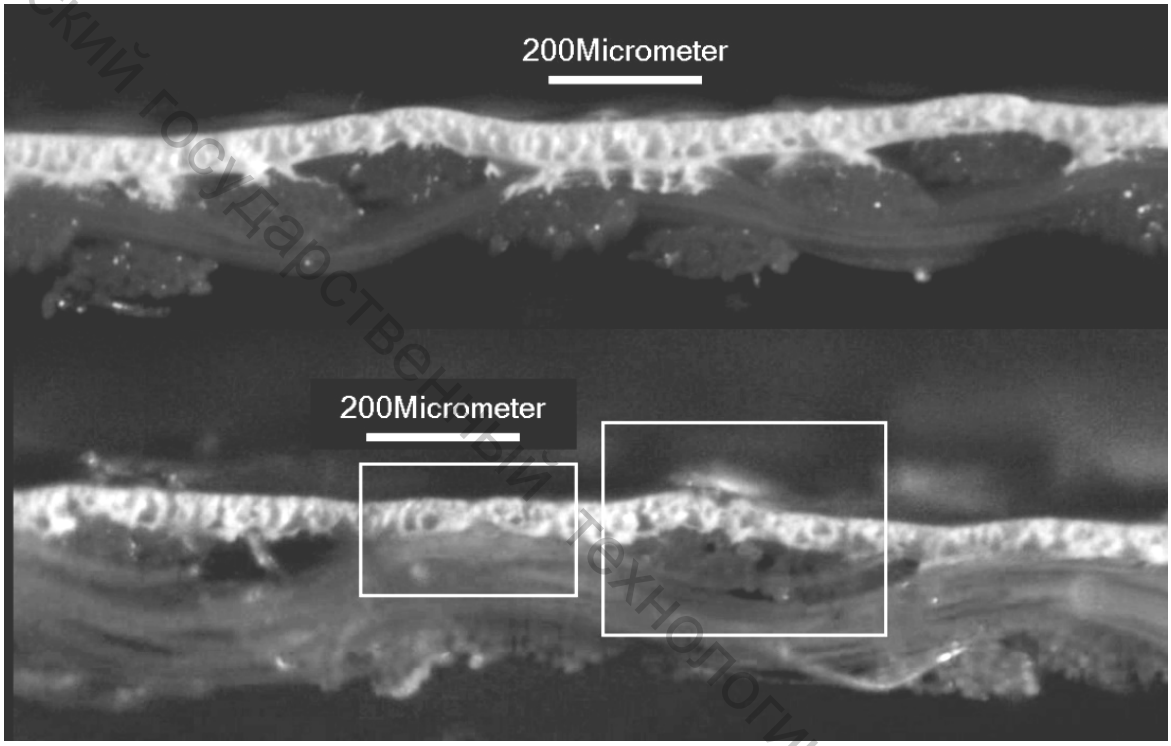


Рисунок 5.5 – Структура 2-слойных КСТМ
до и после стирок (образец № 3) (×100)

По результатам микроскопии срезов образцов во всех случаях заметно истончение мембранного слоя, его неровнота, уменьшение глубины проникания мембраны в толщу текстильной основы и искривление опорной поверхности КСТМ вследствие изменения фазы строения текстильной основы. Видимое на микрофотографиях изменение толщины мембранного слоя подтверждается снижением массы всех образцов этого типа КСТМ.

Водонепроницаемость всех исследуемых образцов снижается после стирок. Наиболее разнопланово влияние стирок на водонепроницаемость трехслойных КСТМ типов 4 и 5. Разброс результатов исследования слишком велик и не позволяет сделать общий вывод по данной группе материалов: от высокой устойчивости образца

Витебский государственный технологический университет

№ 7 с относительной водонепроницаемостью 0,9 после 20 стирок, до почти полной потери водонепроницаемости, наблюдаемой у образца № 6 после 20 стирок.

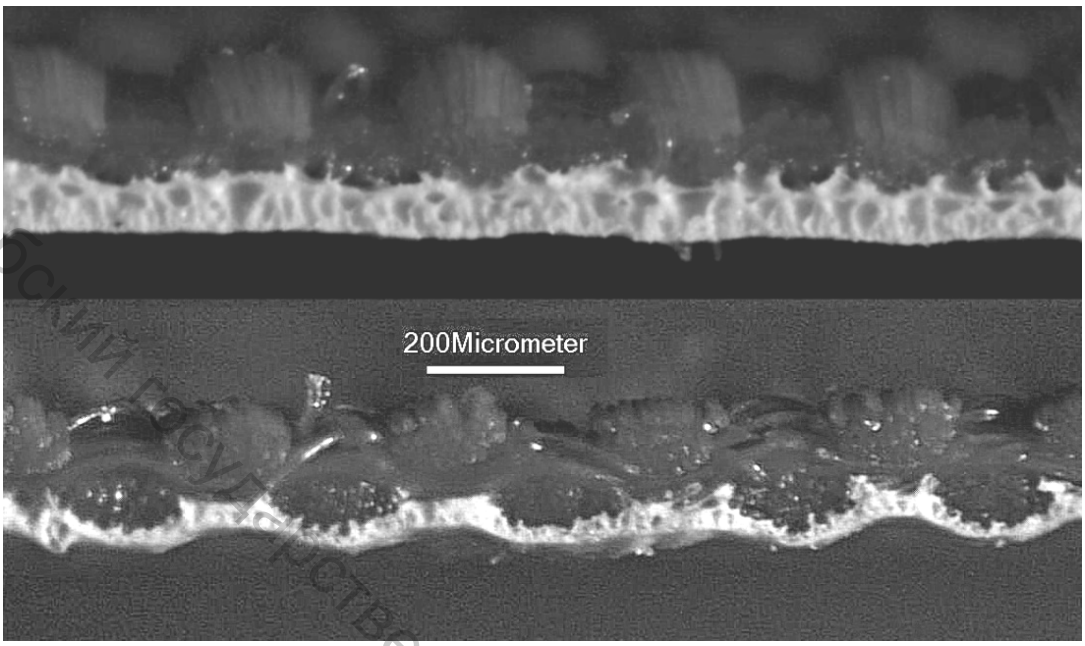


Рисунок 5.6 – Структура 2-слойных КСТМ
до и после стирок (образец № 2) (×100)

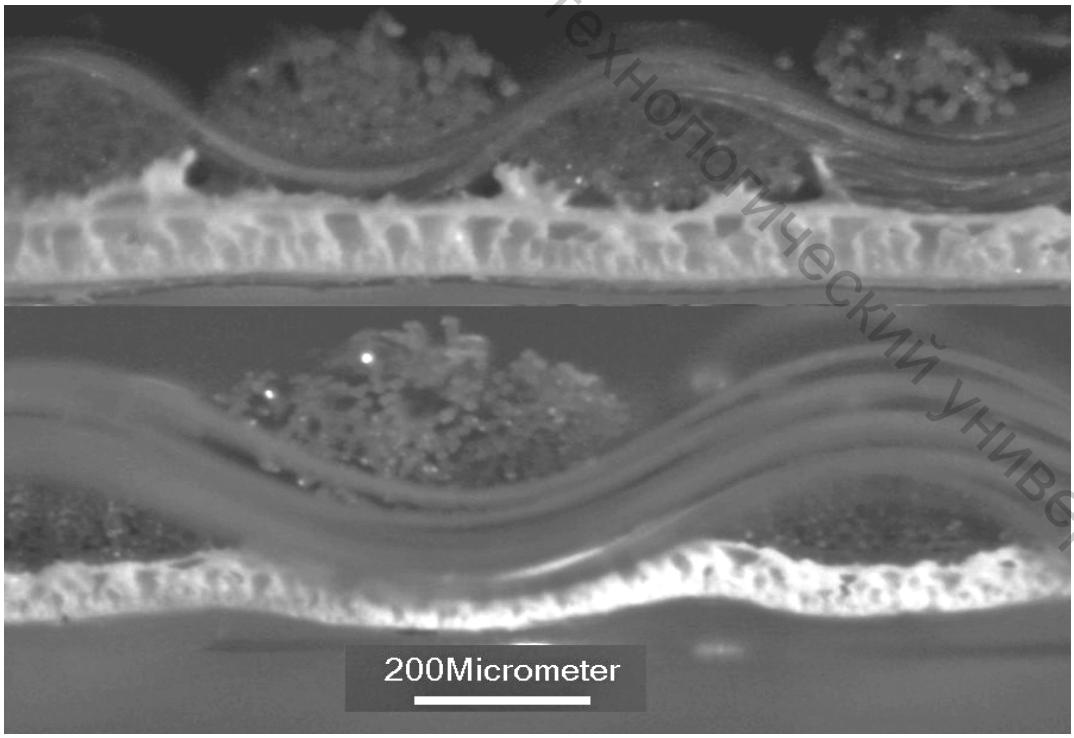


Рисунок 5.7 – Структура 2-слойных КСТМ
до и после стирок (образец № 18) (×100)

.

Витебский государственный технологический университет

Характер изменения водозащитной функции **2-слойных** материалов структурного типа 1 с губчатым гидрофобным полимерным мембранным слоем можно проследить по графику на рисунке 5.8: резкое снижение водонепроницаемости в течение первых 10 стирок, затем снижение водонепроницаемости не такое быстрое, но значимое. Всего за 20 циклов стирки и сушки 2-слойные КСТМ типа 1 утратили около 75 % первоначальной водонепроницаемости, причем более половины потерь приходится на первые 10 стирок.

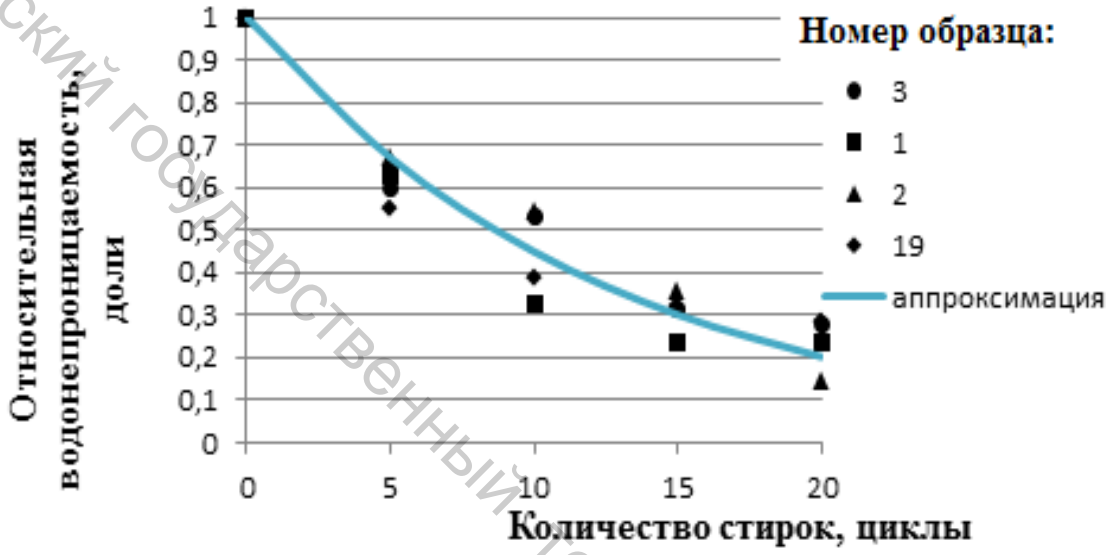


Рисунок 5.8 – Зависимость относительной водонепроницаемости 2-слойных КСМ от количества стирок

Экспериментальные данные с высокой достоверностью (относительная средняя ошибка аппроксимации 6,8 %) аппроксимируются экспоненциальной функцией вида (5.4)

$$y = e^{-0,08 \cdot x}, \qquad (5.4)$$

где y – относительная водонепроницаемость после стирки и сушки, доли от единицы; x – количество циклов стирки и сушки; e – основание натурального логарифма.

Несколько иной характер изменения водонепроницаемости **2,5-слойных** КСТМ типа 3 наблюдается при анализе рисунка 5.9. Водонепроницаемость 2,5-слойных КСТМ практически не снижается в течение первых 10 стирок, что соответствует данным литературных источников [66, 7, 8, 21, 22]. В течение последующих циклов стирки и

Витебский государственный технологический университет

сушки КСТМ типа 3, в составе которых присутствует губчатый гидрофобный слой и монолитный гидрофильный слой, демонстрируют плавное снижение водонепроницаемости.

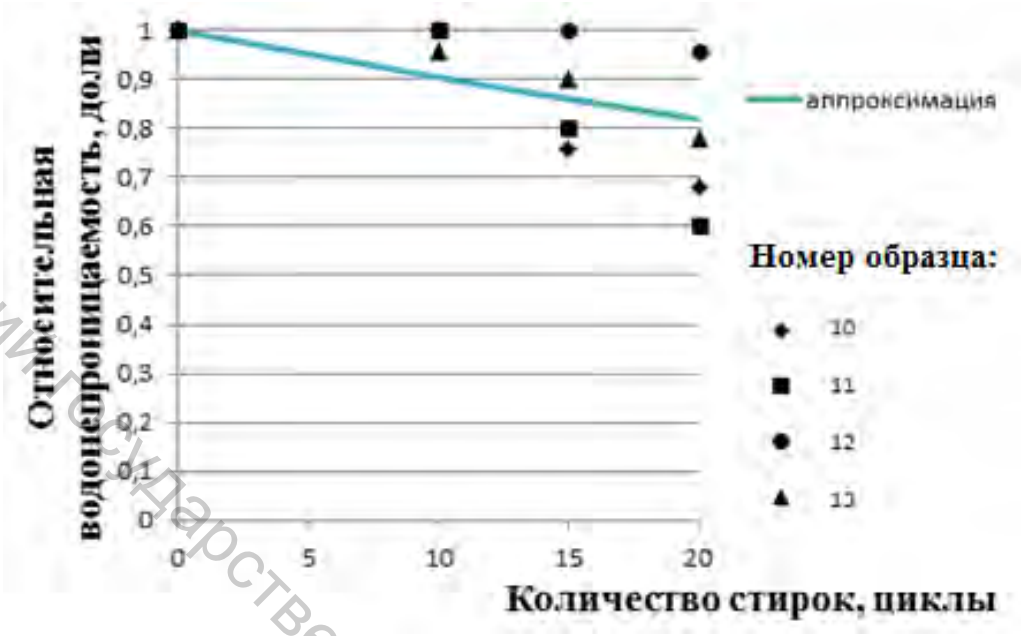


Рисунок 5.9 – Зависимость относительной водонепроницаемости 2,5-слойных КСМ от количества стирок

Предположительно, гидрофильный монолитный наружный слой мембраны защищает губчатую внутреннюю структуру от разрушения. Экспериментальные данные аппроксимируются экспоненциальной функцией вида (5.5). Относительная средняя ошибка аппроксимации 14,5 %.

$$y = e^{-0,01 \cdot x}, \qquad (5.5)$$

где *y* – относительная водонепроницаемость после стирки и сушки, доли от единицы; *x* – количество циклов стирки и сушки; *e* – основание натурального логарифма.

Следует отметить, что общее снижение водонепроницаемости 2,5-слойных КСТМ после 20 стирок не превышает 40 % – показатель, достигаемый КСТМ 1 типа за первые 7–8 стирок.

Таким образом, исследование влияния стирки на водонепроницаемость КСТМ различных струтктур показало следующее:

1. Для всех структур водонепроницаемых КСТМ стирка приводит к снижению водозащитных свойств.

Витебский государственный технологический университет

2. Наиболее пагубное воздействие стирка оказывает на водонепроницаемость 2-слойных КСТМ с гидрофобным губчатым слоем, вызывая истончение и деформацию мембраны, что приводит к снижению водонепроницаемости в среднем на 75 % после 20 стирок. Характер снижения водонепроницаемости таков, что после первых же стирок водонепроницаемость материалов значимо снижается.

3. Водонепроницаемость 2,5-слойных КСТМ после 20 стирок снижается в среднем на 25 %, причем первые стирки все исследуемые материалы этой группы выдерживают практически без изменения водонепроницаемости.

4. При исследовании 3-слойных материалов не удалось выявить какую-либо общую зависимость, поскольку среди проанализированных результатов исследования наблюдался индивидуальный характер экспериментальных кривых, не поддающийся обобщению. По-видимому, это связано с малой выборкой и существенными различиями структуры и способа получения материалов данной группы. Так, именно для выборки 3-слойных материалов характерен большой диапазон варьирования поверхностной плотности и толщины материалов.

Таким образом, проведенные исследования показателей водонепроницаемости, водоотталкивания, воздухопроницаемости в динамике воздействия на КСТМ многократных стирок и сушки показали, что уровень гигиенических свойств мембранных текстильных материалов нестабилен. Установлен характер изменения водонепроницаемости под действием стирок для 2-слойных и 2,5-слойных структур КСТМ, экспериментально получены зависимости относительной водонепроницаемости мембранных текстильных материалов указанных структур от количества стирок.

5.3 Исследование изменения водонепроницаемости мембранных текстильных материалов в различных температурно-влажностных условиях

В случае, когда на материалы одежды действует пониженная температура воздуха, происходит изменение их свойств. Известно, что существенные изменения претерпевают материалы при одновременном воздействии пониженных температур и трения, многократного изгиба, растяжения: слоистые материалы расслаиваются, образуются микротрещины и просечки слоев, их растяжимость снижается [10].

Чаще всего исследование морозостойкости многослойных материалов проводят при совместном воздействии пониженной температуры и однократного или многократного изгиба, определяя

Витебский государственный технологический университет

степень разрушения слоев визуально. Одним из признаков нарушения структуры материалов является значимое ухудшение их свойств [30]. Для композиционных слоистых материалов, содержащих в своей структуре мембранный полимерный слой, имеет смысл исследование совместного влияния пониженных температур, влаги и изгиба на структуру и водонепроницаемость, поскольку именно такие воздействия материалы испытывают во время эксплуатации.

Исследования, проведенные в УО «ВГТУ», показали, что важными факторами, влияющими на морозостойкость КСТМ, являются вид клеевого состава, используемого в процессе получения композиционного материала, и влажность образцов.

Целью исследований являлось сравнение характеристик материалов, полученных соединением полиэфирной текстильной основы с полиуретановой гидрофильной монолитной мембраной посредством двух различных клеевых составов, для выявления оптимального. Текстильные основы исследуемых образцов выработаны полотняным переплетением из полиэфирных комплексных нитей; мембрана – монолитная гидрофильная; способ получения композита – переносной.

Исследовали материалы производства ОАО «Моготекс», Республика Беларусь, предназначенные для изготовления одежды, защищающей от холода, ветра и атмосферных осадков. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 5.4.

Методика исследования предполагает проведение четырех опытов в климатической камере при воздействии на материалы 15 000 циклов изгиба в различных температурно-влажностных режимах:

– кондиционированные образцы при температуре плюс 25 ^{o}C и относительной влажности 65 %;

– кондиционированные образцы при температуре минус 15 ^{o}C и относительной влажности 20 %;

– увлажненные образцы при температуре плюс 25 ^{o}C и относительной влажности 65 %;

– увлажненные образцы при температуре минус 15 ^{o}C и относительной влажности 20 %.

До и после каждого опыта выполняли определение водонепроницаемости образцов и их микроскопическое исследование. Увлажнение материалов для моделирования потоотделения проводили в течение 30 минут укладыванием на пропитанный дистиллированной водой холст мембраной (изнаночной стороной материала) к влаге.

Испытания проводили в лаборатории кафедры «Техническое регулирование и товароведение» Витебского государственного технологического университета.

Многоцикловой изгиб образцов выполняли с помощью флексометра типа ИПК-2М, установленного в климатической камере

Витебский государственный технологический университет

YTH-408-40-1P, методика многоциклового нагружения – по ГОСТ ISO 5402-1-2014 [3].

Таблица 5.4 – Характеристика объектов исследования

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м^2	Вид клея	Характеристика клея	Гидростатическое давление, выдерживаемое образцом в течение 5 минут без промокания (водонепроницаемость), кПа
1	211	FIXAMIN AC W38	термически самосшивающийся эфир акриловой кислоты	30
2	185			40
3	152	ЛАМЕТАН ADH-1	водная дисперсия	70
4	157			70

Водонепроницаемость образцов определяли методом постоянного гидростатического давления [31] с помощью портативного прибора [16] по методике, изложенной в [15], и оценивали временем, которое выдерживал образец до промокания. Величина прилагаемого гидростатического давления, определяющая начальный уровень водонепроницаемости каждого образца и указанная в таблице 5.4, не изменялась.

Результаты эксперимента представлены в виде гистограммы на рисунке 5.10. По результатам исследования выявлено, что образцы № 1 и № 2, полученные с применением клея FIXAMIN AC W38, прекрасно выдерживают приложенные нагрузки, изменяя уровень начальной водонепроницаемости в пределах 14 %, причем в увлажненном состоянии «работают» даже лучше. Напротив, образцы № 3 и № 4, содержащие в составе в качестве связующего вещества клей ЛАМЕТАН ADH-1, обладают низкой устойчивостью к моделируемым эксплуатационным воздействиям. Так, оба образца, находясь в кондиционированном состоянии, обнаруживают значительное снижение уровня водонепроницаемости (на 25–60 %) после воздействия многоцикловых нагрузок, что усугубляется после увлажнения образцов. Вероятно, это связано с тем, что клей является водной дисперсией.

Витебский государственный технологический университет

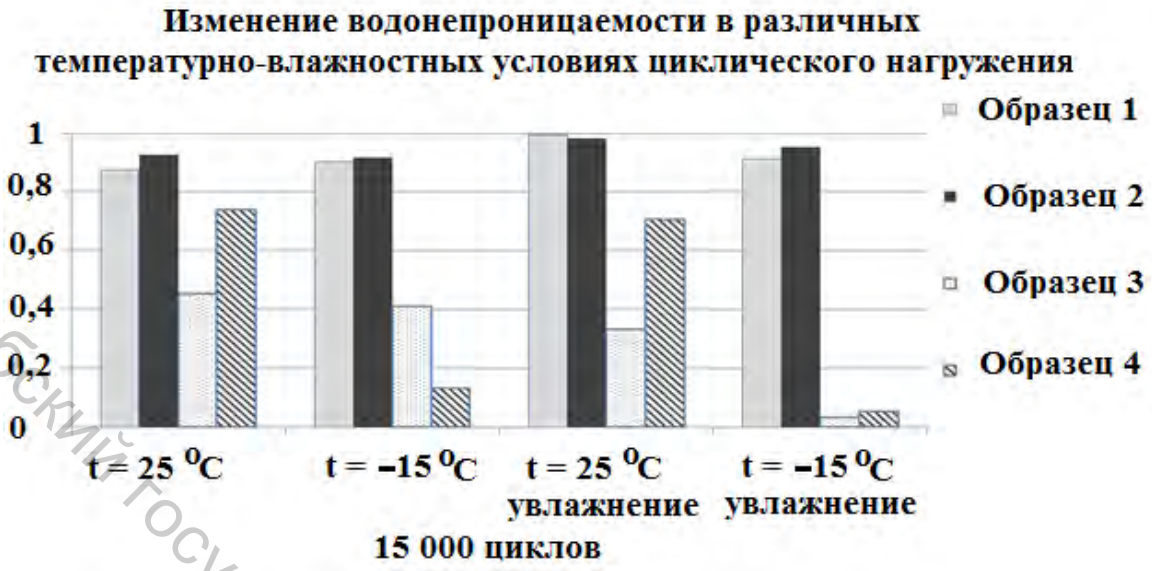


Рисунок 5.10 – Гистограмма относительной водонепроницаемости образцов

Низкие температуры, особенно после увлажнения образцов, губительны для мембранных материалов, полученных с применением указанного препарата. Характерное разрушение мембранного слоя образца № 3 после эксперимента показано на рисунке 5.11.

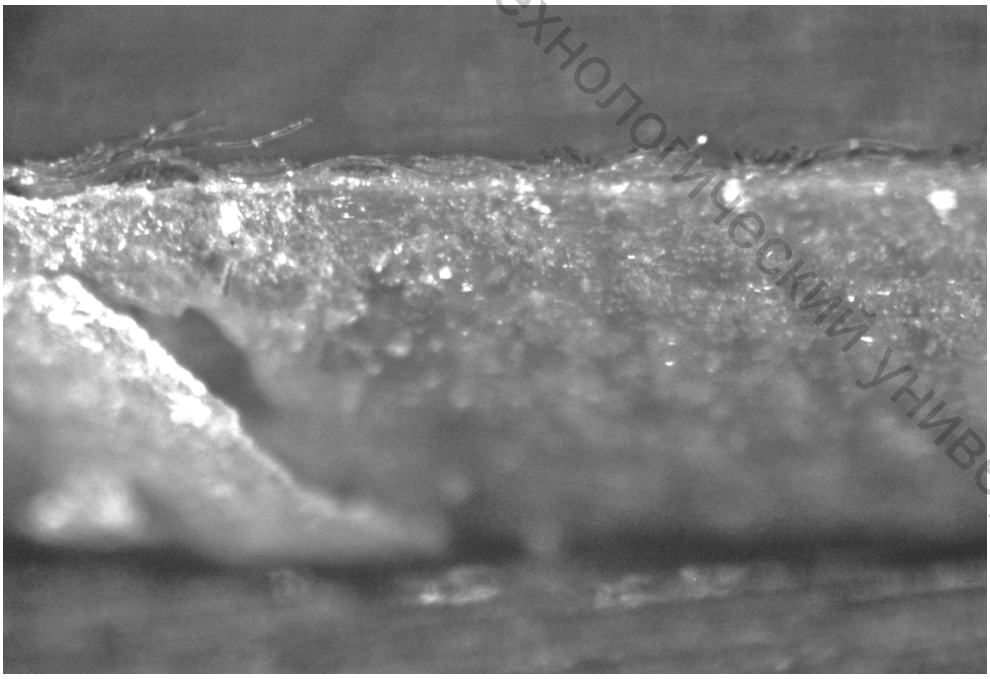


Рисунок 5.11 – Дефект мембраны после одновременного воздействия влаги, низкой температуры и многоциклового изгиба

Витебский государственный технологический университет

Видно, что произошло отслоение и охрупчивание мембраны, появились трещины, просечки, что сказалось на свойствах материала – он потерял способность противостоять воздействию гидростатического давления и промокает мгновенно [32].

Таким образом, мембранные материалы, полученные с применением в качестве клеящего состава водной дисперсии ЛАМЕТАН ADH-1, нецелесообразно использовать в качестве материалов верха для одежды, защищающей от ветра, влаги и пониженных температур.

Наблюдения за изменением характеристик материалов под воздействием циклических комбинированных нагрузок показывают, что сохранение начального уровня потребительских свойств материалов в процессе эксплуатации по назначению в значительной степени обусловлено интенсивностью и природой эксплуатационных воздействий. В связи с этим при выборе материалов в пакет изделия можно заранее определить номенклатуру эксплуатационных факторов и интенсивность их воздействия и оценить в лабораторных условиях изменение определяющих качество характеристик материалов. Такой подход создает предпосылки для прогнозирования свойств материалов в процессе эксплуатации и для оценки их качества [18].

5.4 Исследование изменения свойств мембранных текстильных материалов после эксплуатации

Экспериментальные носки дают возможность объективно оценить свойства материалов в процессе эксплуатации при взаимодействии комплекса реальных факторов [33]. Поэтому завершающим этапом разработки методов и средств оценки эксплуатационных свойств материалов всегда является проверка их адекватности путем установления степени соответствия результатам экспериментальной носки.

Исследование износостойкости бытовой одежды методом экспериментальной носки характеризуется тем, что разнообразие факторов, влияющих на свойства материалов верха, сложно систематизировать. А вот изучение процессов, происходящих в материалах верха при эксплуатации спортивной экипировки, может дать достаточно точные результаты благодаря следующим условиям:

– подтвержденная методическими и научными разработками спортивной педагогики возможность классификации и определения меры воздействия основных факторов износа вследствие однотипности выполняемых движений спортсмена и относительной неизменности

Витебский государственный технологический университет

тренировочной среды при исследовании экипировки для конкретного вида спорта;

– закрепленная в нормативных документах, касающихся спортивной подготовки, возможность получения статистически значимых результатов благодаря регулярности, массовости, территориальной локализованности и организованности спортивных занятий;

– возможность планирования эксперимента практически любой длительности за счет известного календарного графика тренировок и регулярного пополнения участниками, выполняющими те же действия и обладающими практически теми же характеристиками, что и выбывшие из эксперимента (пол, возраст, телосложение);

– наличие межрегиональных связей между спортивными школами и регулярный характер спортивных состязаний, развитая сеть спортивных организаций, подчиненных единому центру.

Обобщая сказанное выше, можно утверждать, что изучение свойств материалов для спортивной экипировки методом экспериментальной носки заранее обеспечено необходимой для исследования и рационального применения организационной базой.

Поэтому для изучения стабильности свойств мембранных текстильных материалов в процессе эксплуатации экспериментальные носки были организованы на базе Витебской областной ДЮСШ профсоюзов по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос» и спортивной секции гимназии № 9 по биатлону. Исследованию подвергалась спортивная экипировка гребца и биатлониста.

Опытная партия экипировки гребца (байдарочника и каноиста), состоящая из 10 курток спортивных, 10 жилетов спортивных, 15 фартуков на байдарку, 20 пар рукавиц водозащитных и 10 жилетов страховочных, была изготовлена на ЗАО ОПТФ «Світанак» (г. Орша) и в лаборатории кафедры «Конструирование и технология одежды» УО «ВГТУ» (г. Витебск) в рамках хозяйственных договоров. Фотография байдарочника в экипировке опытной партии представлена на рисунке 5.12. Образцы экипировки поступили на гребную базу Витебской областной ДЮСШ профсоюзов по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос» в г. Витебске в феврале 2014 года. В проведении носки принимала участие группа из 10 спортсменов в возрасте 15–17 лет. В группе носчиков были задействованы 5 байдарочников и 5 каноистов. Экипировка использовалась в течение 1,5 года тренировок на открытой воде в диапазоне температур от +8 ^{o}C до -1 ^{o}C.

Опытная партия экипировки биатлониста, состоящая из 3 курток спортивных, 3 брюк спортивных, 1 комбинезона, была изготовлена в лаборатории кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви» УО «ВГТУ» (г. Витебск) в рамках студенческого гранта № 117 и поступила на лыжную базу УО «Гимназия № 9 г. Витебска» в октябре

Витебский государственный технологический университет

2019 года. В группе носчиков были задействованы 4 биатлониста в возрасте 10–14 лет. Экипировка использовалась в течение 4 месяцев тренировок в режиме катания по стадиону и лыжной трассе на лыжах или лыжероллерах (в отсутствии снега) в диапазоне температур от +10 ^{o}C до -4 ^{o}C. Фотография биатлонистов в экипировке опытной партии представлена на рисунке 5.13.

Рисунок 5.12 – Спортсмены-байдарочники в водозащитной экипировке

Для изготовления спортивной экипировки использовали 3 артикула 2-слойных КСТМ, 3 артикула 2,5-слойных и 4 артикула 3-слойных КСТМ, характеристика которых представлена в таблице 5.5.

Результаты экспериментальной носки показали, что двухслойные КСТМ обладают более устойчивой к эксплуатационным воздействиям структурой. Периодический органолептический осмотр выявил неизменность внешнего вида 2-слойных и 2,5-слойных КСТМ и 3-слойных КСТМ на трикотажной основе. Ухудшение внешнего вида 3-слойных материалов, проявляющееся в короблении лицевой поверхности, грубости и зернистости туше, было отмечено для КСТМ на тканой основе (образцы № 8 и № 9).

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 5.13 – Спортсмены-биатлонисты в экипировке

Максимальный фактический срок носки изделий составил 200 часов для экипировки гребца и 75 часов для экипировки биатлониста.

Таблица 5.5 – Характеристика материалов спортивной экипировки

Количество слоев / тип	Номер образца	Сырьевой состав: основа / мембрана / подкладка	Толщина, мкм	Паропроницаемость, г/м^2/24 часа	Водонепроницаемость, МПа
2 / 1	1	ткань ПЭ / микропористая гидрофобная мембрана ПУ толщиной 50-70 мкм	259,8	4508	0,07
	2		220,3	5670	0,1
	3		238,8	4206	0,11
2,5 / 3	4	ткань ПЭ / двухкомпонентная гидрофобно-гидрофильная мембрана ПУ толщиной 35-50 мкм	218,5	3492	0,08
	5		262,9	3162	0,12
	6		250,6	3558	0,14
3 / 5	7	трикотаж ПЭ / гидрофильная мембрана ПУ толщиной 10 мкм / трикотаж ПЭ	358,8	2804	0,09
	8	ткань ПЭ / микропористая гидрофобная мембрана ПУ толщиной 10 мкм / трикотаж ПЭ	308,4	3558	0,12
	9	ткань ПЭ / гидрофильная мембрана ПУ толщиной 10-12 мкм / флис ПЭ	805,2	7560	0,06
	10		752,6	6884	0,07

Витебский государственный технологический университет

В процессе эксплуатации предметы экипировки гребца, выполненные из материалов под номерами 1–6 и 8, подвергаются действию воды, ветра, атмосферных осадков, изгиба, растяжения, сжатия, кручения, трения. Фартук подвергается небольшому растяжению в области соприкосновения с коленями спортсмена, изгибу, сжатию и трению в местах облегания фальшборта байдарки, а рукавицы – многократному изгибу и трению о поверхность цевья весла.

Детали спортивной куртки подвергаются многоцикловому изгибу, кручению, трению в области передних перекатов рукавов в связи с активными движениями рук при гребле. Для деталей куртки и жилета характерны следующие эксплуатационные нагрузки: область спинки на уровне верхних углов подмышечных впадин подвергается многократному растяжению, перед и спинка в области талии испытывают многоцикловой изгиб, сжатие и трение вследствие стягивания изделия поясом фартука, а также кручение за счет ритмичных разворотов корпуса спортсмена при гребке.

В процессе исследования были установлены сроки носки в часах для каждого предмета экипировки, соответствующие периодичности измерений водонепроницаемости, и максимальный фактический срок носки для каждого вида КСТМ, участвующего в эксперименте. Период времени, соответствующий максимальному сроку носки, был разбит на интервалы, содержащие приблизительно одинаковое количество фактических измерений водонепроницаемости на разных изделиях.

Периодичность воздействий приблизительно можно рассчитать исходя из среднего значения количества гребков при установившемся ритме гребли в условиях тренировки – 30 гр/мин. Данные о ритме гребли получены экспериментально путем подсчета средней скорости 10 спортсменов во время наблюдения за особенностями условий эксплуатации экипировки. Таким образом, за 1 час тренировки материалы верха предметов экипировки гребца получают около 1800 циклов механических воздействий. К окончанию срока носки за 200 часов материалы будут подвергнуты примерно 360 000 циклов комбинированных механических воздействий [14].

Было рассчитано среднее значение водонепроницаемости каждого вида КСТМ в каждом интервале срока носки, пересчитанное впоследствии в показатель относительной водонепроницаемости исходя из известного начального уровня водонепроницаемости образцов, представленного в таблице 5.5. Результаты исследования водонепроницаемости экипировки гребца в процессе экспериментальной носки представлены в таблице 5.6.

Анализ динамики изменения водонепроницаемости в процессе носки показал, что водонепроницаемость 2-слойных материалов снижается в начальный период не так интенсивно, как 2,5-слойных. Однако к концу времени носки, когда изделия подверглись нескольким

Витебский государственный технологический университет

стиркам, относительная водонепроницаемость 2-слойных материалов стала снижаться интенсивнее.

Таблица 5.6 – Сводная таблица результатов экспериментальной носки экипировки гребца

Интервал времени носки (количество стирок)	Средняя относительная водонепроницаемость по образцам						
	1	2	3	4	5	6	8
0…40 часов	1	0,9	1	1	1	1	0,7
41…80 часов (1-2 стирки)	0,87	0,71	0,85	0,68	0,69	0,64	0,3
81…120 часов	0,68	0,38	0,62	0,62	0,63	0,59	0,0
121…160 часов	0,51	0,3	0,54	0,56	0,54	0,53	-
161…200 часов (3-5 стирок)	0,36	0,22	0,32	0,54	0,48	0,46	-

Исследование изменения водонепроницаемости 2,5-слойных материалов, содержащих двухкомпонентную гидрофобно-гидрофильную мембрану (структурный тип 3), показало, что в процессе эксплуатации их водонепроницаемость снижается более равномерно, нежели у материалов 2-слойной структуры. Скорее всего это связано с тем, что стирка оказывает все же очень существенное влияние на водонепроницаемость 2-слойных материалов.

Хуже всего показал себя трехслойный образец № 8, уровень водонепроницаемости которого снизился до нуля менее чем за 100 часов носки. Уже в первые 40 часов образец утратил треть начального уровня водонепроницаемости. Наблюдение согласуется с результатами лабораторного моделирования эксплуатационных нагрузок – КСТМ трехслойной структуры обладают наименее стабильным уровнем показателя водонепроницаемости.

В процессе эксплуатации предметы экипировки биатлониста, выполненные из 3-слойных материалов под номерами 7, 9, 10, подвергаются действию ветра, иногда атмосферных осадков в виде снега, воздействию изгиба, растяжения, сжатия, кручения, трения. Одним из наиболее разрушительных воздействий при эксплуатации спортивной экипировки биатлониста является удар с трением, возникающий при падении спортсмена, передвигающегося на высокой скорости по лыжной или лыжероллерной трассе. В таких случаях материалы одежды (особенно брюк в области коленей и ягодиц, куртки в области локтя и по низу) испытывают резкое растяжение и очень интенсивное трение.

Результаты исследования экипировки биатлониста представлены в таблице 5.7.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 5.7 – Сводная таблица результатов экспериментальной носки экипировки биатлониста

Интервал времени носки (количество стирок)	Средняя относительная водонепроницаемость по образцам		
	7	9	10
0…25 часов (1стирка)	0,65	0,58	0,61
26…50 часов (2 стирки)	0,32	0,21	0,35
51…75 часов (3 стирки)	0,01	0,0	0,0

Анализ данных таблиц 5.6 и 5.7 подтверждает лабораторные исследования водонепроницаемости 3-слойных КСТМ в динамике комбинированных механических нагружений и стирок: выявлено, что в исследуемой группе образцов именно образцы трехслойной структуры имеют самый низкий уровень стабильности показателя водонепроницаемости после эксплуатации. Время носки экипировки из трехслойных материалов в 2,5 раза меньше, поскольку уже после 51 часа носки и 3 стирок они перестают выполнять водозащитную функцию, теряя свою изначально высокую водонепроницаемость.

Если в таблице 5.4 обратить внимание на толщину мембранного слоя исследуемых образцов, становится очевидно, что материалы с тонким мембранным слоем разрушаются значительно быстрее – толщина мембранного слоя в 2-слойных и 2,5-слойных материалах в 3–7 раз больше, чем в 3-слойных. Предположительно, трехслойная структура является нестабильной вследствие меньшей толщины мембраны.

Исследования, рассмотренные в главе 5 монографии, показали, что мембранные текстильные материалы различных структур по-разному реагируют на моделирование механических воздействий и стирку.

На рисунке 5.14 представлена гистограмма, иллюстрирующая влияние механических воздействий и стирок на водонепроницаемость КСТМ различных структур. Показаны средние значения относительной водонепроницаемости, рассчитанные по структурно близким группам материалов. По гистограмме видно, что при воздействии комбинированных механических нагрузок выявлено различие в характере изменения водонепроницаемости КСТМ с ростом количества циклов нагружения. Наиболее стабильным уровнем показателя водонепроницаемости, определенного методом гидростатического давления, в диапазоне до 150 тысяч циклов механических воздействий обладают 2-слойные мембранные текстильные материалы структурного типа 1. Они сохраняют около 70 % первоначального значения водонепроницаемости после 150 тысяч циклов нагружения. Более половины значения показателя водонепроницаемости сохраняют 2,5-

Витебский государственный технологический университет

слойные материалы структурных типов 2 и 3 после многоцикловых механических воздействий. Нестабильный уровень водонепроницаемости при действии механических нагрузок характерен для 3-слойных КСТМ. Они в тех же условиях теряют в среднем 60 % водонепроницаемости.

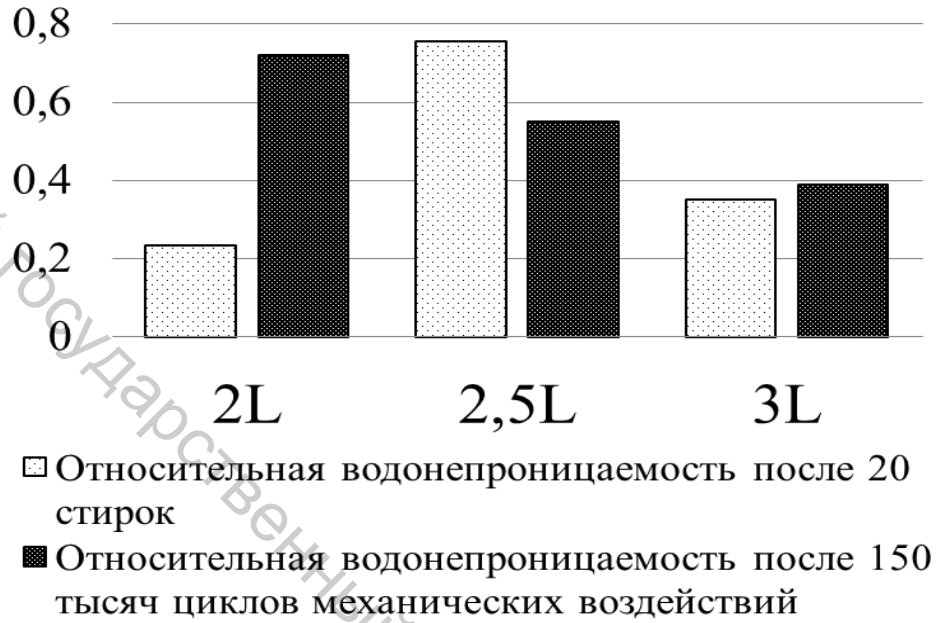


Рисунок 5.14 – Относительная водонепроницаемость КСТМ после механических воздействий и стирок

Сопоставительный анализ результатов экспериментальной носки и лабораторных исследований показал, что при моделировании эксплуатационных нагрузок по разработанной методике могут быть выявлены значимые для решения задачи выбора материалов особенности изменения характеристик материала в процессе эксплуатации по назначению. Возможно, диапазон исследования 0–150 тысяч циклов не всегда позволяет выявить наиболее стабильную структуру КСТМ. Так, при исследовании материалов в процессе эксплуатации 2,5-слойные материалы по итогу оказались более устойчивыми к эксплуатационным воздействиям, причем существенное изменение водонепроницаемости всех исследуемых образцов произошло за рамками указанного диапазона.

Проведено сравнение степени влияния стирок и многоцикловых механических нагружений на водонепроницаемость КСТМ и показано влияние структуры КСТМ на значимость показателей эксплуатационных свойств: для 2-слойных КСТМ приоритетным показателем является относительная водонепроницаемость после стирок, а для 2,5-слойных – относительная водонепроницаемость после

Витебский государственный технологический университет

моделирования механических эксплуатационных воздействий. Для 3-слойных КСМ эти два показателя равнозначны.

Подводя итоги, можно дать общие рекомендации по выбору КСТМ для изготовления одежды с учетом гигиенических свойств и особенностей структуры материалов. Для водозащитной одежды, требующей высокого уровня гигиенических свойств и подвергающейся в процессе эксплуатации существенным механическим воздействиям, рекомендуется выбирать 2-слойные КСТМ структурного **типа 1**, обладающие высокой паропроницаемостью, водонепроницаемостью и стабильностью водонепроницаемости при многоцикловых механических воздействиях. Доля толщины мембранного слоя в общей толщине композита должна быть наибольшей для обеспечения более высокого уровня паропроницаемости и стабильности показателя водонепроницаемости в процессе эксплуатации. Такими изделиями являются, например, предметы спортивной экипировки, как изображенный на рисунке 5.15 костюм для рафтинга.

Рисунок 5.15 – Область применения КСТМ типа 1

Одежда, подвергающаяся в процессе эксплуатации более частым стиркам и не испытывающая значительного воздействия механических факторов, будет обладать длительным ресурсом материалов верха в случае изготовления из 2,5-слойных КСТМ структурного **типа 3.** Рисунок 5.16 с изображением бытовой водонепроницаемой часто стираемой детской одежды иллюстрирует этот тезис. Доля толщины гидрофильного мембранного слоя в общей толщине композита должна быть наименьшей, а гидрофобного мембранного слоя – наибольшей для обеспечения высокого уровня паропроницаемости.

Витебский государственный технологический университет

Рисунок 5.16 – Область применения КСТМ типа 3

КСТМ 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. На рисунке 5.17 показан подходящий для этих структурных типов вариант использования – дождевик.

Рисунок 5.17 – Область применения КСТМ типов 4 и 5

В любом случае, данные о структуре КСТМ необходимы, чтобы установить методы и средства исследования, ожидаемый диапазон значений показателей гигиенических свойств, а также предполагаемый уровень их стабильности.

Витебский государственный технологический университет

Литература

1. Перепелкин, К. Е. Методы исследования свойств текстильных изделий : учеб. пособие / К. Е. Перепелкин, М. Н. Иванов, А. В. Куличенко, С. А. Савина. – Ленинград : ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1988. – 69 с.
2. Соловьев, А. Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.
3. Кожа. Определение прочности на изгиб. Часть 1. Метод с применением флексометра : ГОСТ ISO 5402-1-2014 = ISO 5402-1:2011. – Введ. 01.01.2016. – М. : Стандартинформ, 2015. – 8 с.
4. Махонь, А. Н. Оценка эксплуатационных показателей качества тканей для верха обуви методом циклического комбинированного нагружения : дис. канд. техн. наук : 05.19.08 / А. Н. Махонь. – Витебск, 2009. – 176 с.
5. Кузьмина, И. В. Влияние химических чисток и стирок на гигиенические свойства тканей с кислотозащитной обработкой / И. В. Кузьмина, Н. Н. Симкович, Л. С. Слеткина // Надежность, экономичность и качество текстильных материалов : тез. докл. XII Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению, 19–21 октября 1988 г. : Т. 2 / программно-редакционная комиссия: М. П. Носов (председатель) [и др.]. – Киев : КТИЛП, 1988. – С. 121–123.
6. Официальный сайт компании «Toray» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.torayentrant.com. – Дата доступа: 08.12.2016.
7. Официальный сайт научно-исследовательского института текстильных материалов «Hohenshtein» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.hohenstein.de/en/testing/textile_testing/textile_ testing_1.xhtml. – Дата доступа: 21.09.2014.
8. Официальный сайт компании «W.L. GORE &Associates» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gore-tex.com/en-us/home. – Дата доступа: 08.12.2016.
9. Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний : ГОСТ ISO 6330-2011 = ISO 6330:2011. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.
10. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / под ред. К. Г. Гущиной – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.
11. Бузов, Б. А. Материалы для одежды. Ткани / Б. А. Бузов, Г. П. Румянцева. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2012. – 224 с.

Витебский государственный технологический университет

12. Давыдов, А. Ф. Текстильное материаловедение : учеб. пособие / А. Ф. Давыдов. – М. : Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1997. – 168 с.

13. Кузнецов, А. А. Исследование изменения защитных свойств боевой одежды пожарных при многоцикловых эксплуатационных воздействиях / А. А. Кузнецов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – № 2 (27). – С. 38–45.

14. Панкевич, Д. К. Оценка эксплуатационных свойств композиционных слоистых текстильных материалов для водозащитной одежды: дис. … канд. техн. наук: 05.19.01 / Д. К. Панкевич ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 244 с.

15. 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.

16. Прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления: полезная модель BY10690 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна; дата публ. 30.06.2015.

17. Прибор для испытания материалов для одежды и обуви : полезная модель BY10745/ Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна, Ю. М. Кукушкина, Е. В. Бондарева, О. А. Петрова-Буркина ; дата публ. 01.08.2014.

18. Буркин, А. Н. Эксплуатационные свойства текстильных материалов: монография / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, Д. К. Панкевич; под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019. – 218 с.

19. Панкевич Д. К. Влияние многоцикловых нагружений 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.

20. 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 [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 63–67.

21. Панкевич, Д. К. Влияние многоцикловых механических нагрузок на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной / Д. К. Панкевич, М. Л. Кукушкин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2017. – № 1 (32). – С. 99–108.

Витебский государственный технологический университет

22. Панкевич, Д. К. Влияние многоцикловых механических нагрузок на водонепроницаемость материалов для водозащитной одежды / Д. К. Панкевич, А. А. Цуран // Материалы докладов 50-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной Году науки : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – Т. 2. – С. 169–172.

23. Optimal moisture management for outdoor activities in all seasons with changing load intervals [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sympatex.com/en/technologies/513/moisture-tech-apparel. – Дата доступа: 08.12.2016.

24. Ткани со специальными защитными свойствами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mogotex.com/catalog/?rid=3. – Дата доступа: 08.12.2016.

25. 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 ноября 2015 г. / Моск. гос. ун-т дизайна и технологии ; редкол.: В. С. Белгородский (гл. ред.) [и др.]. – М., 2015. – Ч. 2. – С. 31–34.

26. Панкевич, Д. К. Исследование влияния эксплуатационных нагрузок на свойства мембранных материалов / Д. К. Панкевич, О. В. Лобацкая, Е. В. Рагиня, Е. Г. Кучинская, Я. В. Иванова // тез. докл. 48 Междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., посвященной 30-летию ун-та, Витебск, 29 апреля 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 146–147.

27. Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний : ГОСТ ISO 6330-2011 = ISO 6330:2011. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

28. Средства моющие синтетические. Общие технические условия : СТБ 1669-2006. – Введ. 01.01.2007. – Минск : Госстандарт, 2010. – 6 с.

29. Рекомендации по стирке и уходу за тканями [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://tk.ua/sertification/rekomendacii-po-stirke-i-ukhodu-za-tkanyami. – Дата доступа: 09.12.2016.

30. Бузов, Б. А. Исследование материалов для одежды в условиях пониженных температур / Б. А. Бузов, А. В. Никитин. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 224 с.

31. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости : ГОСТ 413-91 = ИСО 1420-87. – Взамен ГОСТ 413-75 ; введ. 27.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 6 с.

32. Панкевич, Д. К. Водонепроницаемость материалов с полиуретановой мембраной в различных температурно-влажностных условиях многоциклового нагружения / Д. К. Панкевич, М. Л.

Витебский государственный технологический университет

Кукушкин // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2018. – 257 с. – С. 54–58.

33. Овсянникова, Н. В. Опытная носка – метод комплексной оценки качества материалов // Комплексная оценка качества материалов и пакетов швейных изделий : сб. науч. труд. / ЦНИИТЭИлегпром ; под ред. С. М. Кирюхина. – Москва, 1985. – С. 26.

Витебский государственный технологический университет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня из мембранных текстильных материалов изготавливают высококачественные товары, обладающие комплексом ценных потребительских свойств: высоким уровнем водонепроницаемости и паропроницаемости, легкостью, прочностью, износостойкостью. Из них изготавливают: спортивную, бытовую и специальную одежду и обувь, туристическую экипировку; одежду для чистых помещений; автомобильные чехлы и автокресла; домашний текстиль; зоотехническую и хирургическую одежду, и многое другое. Во всем мире объемы производства этих высокотехнологичных материалов растут, а рынок высококачественных изделий легкой промышленности из них насыщается. К сожалению, изделия из традиционных однослойных водозащитных материалов или прорезиненных материалов не могут составить достойную конкуренцию изделиям из мембранных текстильных материалов, поскольку не обладают таким же высоким уровнем гигиенических свойств.

В Республике Беларусь об уникальных свойствах мембранных текстильных материалов на собственном опыте может судить каждый спортсмен и рыбак. Ведь рыночная ниша товаров для спорта и активного отдыха уже более 10 лет занята в основном изделиями из мембранных текстильных материалов. Однако в стране до сих пор не сформирована нормативная, методическая, приборная база оценки качества этих материалов, мал объем научной проработки темы, нет четкой классификации мембранных текстильных материалов, отсутствуют рекомендации по номенклатуре и диапазонам значений измеряемых показателей, применяемым методам и средствам оценки гигиенических свойств. Нет научных работ, посвященных выбору мембранных материалов в пакет изделий легкой промышленности.

Авторы монографии стремятся восполнить существующий пробел, опираясь на собственный многолетний опыт исследования свойств КСТМ, данные научных публикаций и литературных источников зарубежных исследователей и принципы классического материаловедения.

В монографии обобщены данные экспериментов авторов монографии и материалы других исследователей по вопросу влияния структуры КСТМ на их гигиенические свойства. Рассмотрены терминологические и классификационные вопросы, предложено использование аббревиатуры КСТМ для обозначения композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембранный слой, и их краткое наименование: мембранные текстильные материалы. Даны краткие пояснения физико-химических процессов, протекающих в мембранных материалах различной структуры при взаимодействии с

Витебский государственный технологический университет

капельно-жидкой и парообразной влагой и обеспечивающих высокий уровень гигиенических свойств КСТМ. Разработана классификация мембранных текстильных материалов и выполнено исследование их структуры методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, проведено сопоставление данных о структуре и свойствах КСТМ. Выявлено 5 структурных типов КСТМ, содержащих мембранный полиэфируретановый слой, проявляющих общие свойства. Установлено влияние параметров их структуры на влагообменные характеристики. Доказана линейная корреляционная зависимость между толщиной КСТМ и паропроницаемостью, толщиной и влагопоглощением. Установлено, что на паропроницаемость и влагопоглощение линейно влияют соотношения толщин входящих в КСТМ слоев. Полученные новые знания о влиянии структуры на гигиенические свойства КСТМ могут быть использованы для проектирования материалов с заданными свойствами.

В работе представлен анализ методов и средств определения характеристик проницаемости мембранных текстильных материалов с позиции их информативности для оценки гигиенических свойств. По данным производителей КСТМ установлено, что для материалов, содержащих пористый мембранный слой, целесообразно использовать метод вертикально стоящей чаши, а для материалов, содержащих монолитный мембранный слой, – метод перевернутой чаши. Значения показателей паропроницаемости лучших современных КСТМ, определенные этими методами, лежат в диапазоне 5000–10 000 г/м^2/24 ч для материалов с поровой мембраной и в пределах 10000–30 000 г/м^2/24 ч для КСТМ с монолитной мембраной. Однако сопоставлять результаты исследований паропроницаемости, проведенных разными методами, нельзя из-за существенных отличий условий испытания. Адекватные условиям эксплуатации результаты дает метод определения сопротивления испарению, известный как «метод потеющей пластины». При использовании этого метода результаты исследований КСТМ различных структурных типов могут быть сопоставлены между собой и с рекомендациями по применимости материалов для одежды. Установлено, что паропроницаемость водозащитных материалов, содержащих мембранный полиэфируретановый слой, возрастает в ряду: типы 2 и 3, тип 5, типы 1 и 4. Такой же вывод получен в результате анализа литературных источников.

Выполнено сравнение гигиенических свойств КСТМ и водозащитных плащевых материалов. Установлено, что материалы, содержащие мембранный слой, обладают более высокими значениями показателей паропроницаемости. Выявлены ряды возрастающей влагопроводности и возрастающей паропроницаемости КСТМ различных структурных типов. Показано, что свойства КСТМ и водозащитных плащевых материалов несопоставимы и проводить

Витебский государственный технологический университет

оценку гигиенических свойств водонепроницаемых КСТМ, пользуясь нормативной и приборной базой плащевых материалов, нецелесообразно. Особенно резко различия в свойствах проявляются в показателе водонепроницаемости, значение которого для КСТМ в десятки раз превышает стандартный показатель.

Анализ методов и средств определения показателя водонепроницаемости позволил разработать классификацию методов и установить существенные недостатки нормативной и приборной базы, которые требуют устранения. В частности, это касается несовершенства узла зажима образцов, допускающего выпучивание и разрушение материала в процессе испытания высоким гидростатическим давлением, дороговизны, громоздкости и энергоемкости приборов, а также недопустимо низких нормативных значений водонепроницаемости, обусловленных отставанием отечественной стандартизации от международной.

На основе анализа современных методов и средств исследования водонепроницаемости текстильных материалов разработана конструкция прибора и методика для определения водонепроницаемости текстильных материалов методом высокого гидростатического давления. Конструкция разработанного прибора позволяет проводить исследование водонепроницаемости материалов методом высокого гидростатического давления и обеспечивает преемственность испытаний за счет малого размера измерительной ячейки, может применяться для оценки водонепроницаемости участков швейных изделий без нарушения их целостности.

Анализ результатов исследования влияния воздействия стирок и механических нагружений на гигиенические свойства КСТМ показал, что происходит значимое снижение уровня водонепроницаемости всех типов КСТМ.

Для 2-слойных КСТМ влияние стирок значительнее снижает водонепроницаемость, чем для материалов 2,5-слойной структуры, исследование которых показало, что большее влияние на водонепроницаемость оказывают многоцикловые механические нагрузки. КСТМ структурных типов 4 и 5 показывают невысокую стабильность начального уровня водонепроницаемости как после стирок, так и после механических нагружений. Проведенные исследования позволили выявить особенности КСТМ 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 нагружений – тип 1, тип 3, тип 2, тип 5, тип 4;

Витебский государственный технологический университет

– относительная водонепроницаемость после стирок – типы 3 и 2, тип 5, тип 4, тип 1.

При проектировании конкретного изделия по показателю, имеющему наибольшую значимость, можно выбрать рекомендуемый тип структуры КСТМ.

Практическое применение методики и прибора для исследования водонепроницаемости текстильных материалов реализовано на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» (г. Витебск) и при проведении научных исследований. Разработанные рекомендации по конфекционированию водонепроницаемых материалов для одежды используются на швейных предприятиях ЗАО ОПТФ «Світанак», г. Орша, ОАО «Свитанак», г. Жодино, ЧПТУП «Манитек», г. Витебск. Изготовленная в соответствии с рекомендациями по выбору материалов на ЗАО ОПТФ «Світанак» спортивная экипировка из КСТМ получила положительные отзывы тренерско-преподавательского состава ДЮСШ по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос».

В перспективе данные сравнительного анализа свойств КСТМ и плащевых и курточных тканей с водоотталкивающей отделкой должны послужить основанием для совершенствования нормативной и приборной базы оценки гигиенических свойств КСТМ.

Витебский государственный технологический университет

Научное издание

Буркин Александр Николаевич
Панкевич Дарья Константиновна

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Монография

Редактор *Т. А. Осипова*
Корректор *Т. А. Осипова*
Компьютерная верстка *Д. К. Панкевич*

Подписано к печати 27.02.2020. Формат 60x90 $^{1}/_{16}$. Усл. печ. листов 11,9.
Уч.-изд. листов 14,3. Тираж 100 экз. Заказ № 69, 70.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
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.

Витебский государственный технологический университет