

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2024, Том 9, № 4 / 2024, Vol. 9, Iss. 4 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL424.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Панкевич, Д. К. Рекомендации по области применения и исследованию свойств водозащитных многофункциональных текстильных материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Костюмология. — 2024. — Т. 9. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL424.pdf>

For citation:

Pankevich D.K. Recommendations on the field of application and on the research of properties of waterproof multifunctional textile materials for clothing. *Journal of Clothing Science*. 2024;9(4): 30TLKL424. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/30TLKL424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 687.173

Панкевич Дарья Константиновна

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь

Доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: dashapan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-9033>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807424

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473436700>

Рекомендации по области применения и исследованию свойств водозащитных многофункциональных текстильных материалов для одежды

Аннотация. Статья посвящена разработке рекомендаций по области применения и исследованию свойств водозащитных материалов различных структур и их соединений с целью конфекционирования материалов в пакет одежды. В работе обобщены результаты исследования эксплуатационных и гигиенических свойств водозащитных многофункциональных комплексных материалов с мембранами различных структур в характерных для одежных материалов температурно-влажностных условиях и дано обоснование области их применения и необходимости проведения определенных видов лабораторных испытаний для получения качественной одежды. Объектами исследования являются водозащитные материалы, содержащие в своей структуре текстильные слои и полимерную мембрану, обеспечивающую высокий уровень водонепроницаемости и одновременно способную пропускать пары воды.

Проведено исследование структуры материалов, созданы выборки материалов, объединенные по принципу схожести структуры полимерной мембраны, проанализированы результаты исследования водозащитных свойств, комфортности и надежности в эксплуатации 93 артикулов материалов.

В результате выполненной работы автором обобщены экспериментальные данные о свойствах водозащитных материалов с мембранами различных структур в характерных для одежных материалов температурно-влажностных условиях и дано обоснование области их применения в соответствии с проявляющимися в процессе эксплуатации тенденциями в изменении уровня свойств. Составленная на основании анализа экспериментальных данных матрица функциональности материалов позволит быстро принимать решения по вопросам

рационального подбора материалов в пакет водозащитной одежды в зависимости от известных условий ее эксплуатации, устанавливать достаточный для принятия решения объем необходимых испытаний, а разработанные методы и средства исследования свойств водозащитных материалов с мембраной могут применяться для разработки оптимальных режимов получения различных соединений водозащитных текстильных материалов, что подтверждено экспериментами, проведенными автором статьи для швейных и обувных предприятий.

Ключевые слова: одежда; выбор материала; мембрана; водонепроницаемость; комфорт; надежность; соединение деталей одежды; испытание

Введение

Водозащитная одежда чрезвычайно разнообразна по области использования. Это и специальная одежда для защиты от воды, и бытовая демисезонная и зимняя одежда для детей и взрослых, и спортивная одежда для различных видов спорта. Независимо от области применения, одежда должна полностью соответствовать условиям эксплуатации, обеспечивая надежную защиту от воды в изменяющихся условиях окружающей среды и высокий уровень комфорта в соответствии с энергозатратами человека. Существенная защита от воды, обеспечиваемая предметами одежды, необходима в различных ситуациях, когда обстоятельства вынуждают человека находиться под воздействием атмосферной влаги длительное время, а применение иных защитных средств по ряду причин невозможно. Чаще всего это применимо для одежды специального, спортивного назначения и одежды для активного отдыха: для пешеходных и велосипедных прогулок, для рыбалки, сбора грибов и ягод, перемещения с помощью средств городской мобильности и т. п. В настоящее время для изготовления подобной одежды широко применяются многофункциональные комплексные текстильные материалы (МТМ), которые в своей структуре кроме текстильных слоев содержат полимерную мембрану. Именно мембрана, непроницаемая для воды, но способная пропускать водяной пар, создает необходимый защитный барьер при сохранении приемлемого для одежды уровня гигиенических свойств.

Особенности проектирования одежды различного назначения из водозащитных материалов включают специфику проектирования модельной конструкции изделия, которая разрабатывается с учетом требований водозащиты, комфортности и надежности, а также характерные принципы технологии обработки и сборки изделий, обусловленные структурными особенностями применяемых материалов. Особую роль в процессе проектирования водозащитной одежды играет правильный подбор пакета материалов — основных и прикладных. В частности, одной из проблем является выбор технологии и материалов для герметизации швов водозащитной одежды.

К герметизированным швам предъявляют следующие требования: водонепроницаемость не ниже водонепроницаемости материала, из которого изготовлено изделие; эластичность и прочность, позволяющие швам деформироваться без разрушения при эксплуатации; атмосферо-, тепло-, морозостойкость герметиков; сохранение герметичности после действия механических нагрузок, стирки или химчистки.

При выборе технологии герметизации необходимо ориентироваться не только на водозащитный эффект, обеспечиваемый материалом, но и на условия эксплуатации готового изделия. В зависимости от условий производства и эксплуатации одежды герметизация ниточных соединений может проводиться одним из способов, характеристика которых представлена в источнике [1].

В настоящее время наиболее известна технология герметизации ниточных швов приклеиванием одно- или многослойной термопластичной клеевой ленты на поверхность изделия посредством расплавления ее клеевого слоя струей горячего воздуха и последующего соединения с помощью прижимных роликов. Для осуществления этой технологии созданы машины для герметизации ниточных швов, разработано множество видов специальных адгезионных лент. Каждый вид ленты рассчитан на определенные условия применения и эксплуатации [2].

Помимо чисто производственных задач, связанных с экономической целесообразностью и принципиальной возможностью создания качественной водозащитной одежды, необходимо найти такой методологический подход к исследованию свойств материалов и их соединений, чтобы решение вопросов конфекционирования материалов и определения способов и режимов их соединения было осуществимым, быстрым и научно обоснованным, что достигается малозатратным, технически и организационно-методически обеспеченным процессом испытаний.

Важнейшую роль в решении этой задачи играет развитие методов и средств исследования свойств материалов и их соединений, а также обобщение и структурирование научных знаний для получения одежды высокого уровня качества с заданным уровнем комфорта и заданным ресурсом водозащитных свойств.

Статья посвящена разработке рекомендаций по области применения и исследованию свойств водозащитных МТМ различных структур и их соединений.

В работе обобщены результаты исследования эксплуатационных и гигиенических свойств водозащитных материалов с мембранами различных структур в характерных для одежных материалов температурно-влажностных условиях и дано обоснование области их применения и необходимости проведения определенных видов лабораторных испытаний для получения качественной одежды. Объектами исследования являются водозащитные материалы, содержащие в своей структуре текстильные слои и полимерную мембрану, обеспечивающую высокий уровень водонепроницаемости и одновременно способную пропускать пары воды.

Методы

Для разработки рекомендаций по области применения водозащитных МТМ различных структур исследовали небольшие выборки двухслойных и трехслойных материалов (от 10 до 19 артикулов в каждой), сгруппированные по признаку общности структуры полимерной мембраны, входящей в состав комплексного материала.

Для обоснования необходимости проведения испытаний при подборе режимов комбинированных ниточно-клеевых соединений водозащитных МТМ исследовали комбинированные ниточно-клеевые соединения трехслойных материалов, отличающихся толщиной, полученные с использованием одного вида герметизирующей ленты при одинаковых режимах стачивания и герметизации швов.

При этом применяли следующие методы.

Для идентификации типа структуры МТМ и измерения толщины слоев образцов материалов выполняли сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) с помощью электронного микроскопа VEGA II LSH с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD с программным обеспечением. Оценивали структуру образцов материалов, наблюдая поверхность мембраны, поперечный срез МТМ и области соединения слоев между собой. Вывод о принадлежности МТМ к определенному структурному типу оформляли согласно разработанной ранее классификации МТМ, опубликованной в источнике [3].

Изучение поровой структуры образцов материалов выполнено методом сканирующего давления с использованием газожидкостного порометра POROLUX™100, программное обеспечение которого позволяет получить данные о диаметре наибольшей, средней и наименьшей сквозной поры, распределении пор по размеру, частоте встречаемости пор определенного размера, диаметре пор, вносящих наибольший вклад в массоперенос.

Для исследования теплоизоляционных свойств МТМ применяли методику, описанную в источнике [4], основанную на определении времени охлаждения нагретого тела, изолированного от окружающей среды исследуемым материалом. При проведении испытания применяли климатическую камеру YTN-408-40-IP для поддержания установленных значений температуры $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и влажности $(65 \pm 4)\%$, источник питания, цифровой регистратор и датчик температуры, нагревательный элемент (вольфрамовый цилиндр длиной 12 см и диаметром 2 см с удельной теплоемкостью $134 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$). Для реализации методики внутри стачанного конвертом образца размещали цилиндр с датчиком температуры, который нагревали до 65°C , после чего отключали источник питания и, наблюдая по регистратору температуры остывание цилиндра, определяли время остывания в интервале от 60°C до 50°C , моделируя перепад температур между воздухом пододежного пространства и наружным воздухом 40°C , максимальный для осенне-весеннего периода носки одежды. По времени остывания цилиндра рассчитывали суммарное тепловое сопротивление R ($\text{м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$) образца, имеющего кондиционную влажность, затем взвешивали образец, увлажняли его изнутри, распыляя 1 мл дистиллированной воды с помощью компрессорного ингалятора Microlife NEB 50 (размер частиц аэрозоля 2 мкм, темп распыления 0,3 мл/мин), моделируя потоотделение, снова взвешивали, и вторично проводили испытание по [4]. По результатам испытаний рассчитывали безразмерный коэффициент ΔR , показывающий изменение теплового сопротивления образца МТМ в процентах от начального уровня при его увлажнении на 1 % от кондиционной массы. Чем больше значение коэффициента ΔR , тем интенсивнее изменяется тепловое сопротивление образца при увлажнении, причем в зависимости от типа структуры МТМ коэффициент ΔR может принимать как отрицательные, так и положительные значения, что существенно влияет на уровень комфорта человека в одежде.

Для исследования способности МТМ различных структур пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости, определяли коэффициент WVP ($\text{г/м}^2\cdot 24 \text{ ч}$) водопаропроницаемости в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Чтобы проанализировать изменение значения коэффициента WVP при изменении разности парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды, использовали понятие усредненного диапазона носки одежды, который составляет $0 \div 5 \text{ 600 Па}$ [5]. Поэтому установленные стандартом условия изменяли, проводя испытание в двух температурно-влажностных режимах, которые создавали в климатической камере YTN-408-40-IP, устанавливая определенные температуру T_k и влажность W_k воздуха камеры:

- режим 1: $T_k = 35^\circ\text{C}$; $W_k = 50\%$ — моделируется разность парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды в середине диапазона ее носки, равная 2 800 Па;
- режим 2: $T_k = 37^\circ\text{C}$; $W_k = 12\%$ — моделируется максимально возможная разность парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды, равная 5 600 Па.

Рассчитывали коэффициент водопаропроницаемости по результатам взвешивания на лабораторных электронных весах PA 214 С («OHAUS Corporation», США) стаканчиков с водой, закрытых исследуемыми образцами, до и после выдержки в заданных условиях с интервалом времени 4 часа. По результатам испытаний рассчитывали коэффициент WVP_{max} ($\text{г/м}^2\cdot 24 \text{ ч}$)

водопаропроницаемости в конце диапазона носки (при режиме 2) и критерий ΔWVP , характеризующий в долях от единицы изменение коэффициента водопаропроницаемости при изменении разности парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды во второй (нагревающей) половине диапазона носки одежды. Чем больше значение критерия ΔWVP , тем быстрее материал способен выводить водяные пары из пространства под одеждой наружу, когда они образуются в результате повышения активности человека в одежде или при изменении наружных условий.

Исследование водозащитной способности МТМ и их соединений проводили до и после моделирования эксплуатационных нагрузок. До нагрузок результаты испытаний оценивали двумя критериями:

- минимальным гидростатическим давлением **WPR** (кПа), при котором вода проходит насквозь через образец;
- временем **t** (мин) промокания образцов при воздействии на их лицевую сторону гидростатического давления 40 кПа (моделирование морящего или слабого дождя).

Использовали метод динамического давления и метод статического постоянного давления по ГОСТ 413-91 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости» соответственно. Стандартные методы модифицировали в части применяемой жидкости (солевой раствор вместо воды), способа регистрации промокания (по величине напряжения в системе «солевой раствор-образец-датчик» вместо визуальной регистрации в момент появления капли) и в части некоторых конструктивных узлов применяемой аппаратуры. Подробно методика и средства исследования описаны в источнике [6]. Для реализации метода использовали портативный прибор.¹ После нагрузок водозащитную способность материалов оценивали критерием ΔWPR — изменение минимального гидростатического давления, при котором вода проходит насквозь через образец, после 30 000 циклов физико-механических воздействий (знакопеременный изгиб при различных температуре и влажности) в долях от единицы по сравнению с первоначальным уровнем. Для моделирования физико-механических воздействий использовали установку.²

Объекты

В качестве объектов исследования рассмотрены двух- и трехслойные водозащитные МТМ, используемые швейными предприятиями Республики Беларусь для изготовления водозащитной бытовой, специальной и спортивной одежды и их ниточно-клеевые соединения. Проанализированы данные о материалах, слои которых соединены двумя способами — ламинированием (соединение готовой мембраны с текстильным слоем методом точечного или сплошного приклеивания) и нанесением покрытия (вспененный полимер наносится на текстиль раклея, мембранный слой формируется на текстильной основе, как на подложке).

Общее число объектов исследования составило 93 артикула, в связи с чем целесообразным представляется охарактеризовать не отдельные образцы, а их группы с определенными структурными характеристиками мембранного слоя. При этом текстильные

¹ Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления: патент 12855 Респ. Беларусь: МПК G 01N 15/08 (2006.01) / А.Н. Буркин, Д.К. Панкевич, Е.И. Ивашко, А.А. Терентьев. — № 20210283; заявл. 15.10.2021; опубл. 30.12.2022, Бюл. № 6 (149).

² Установка для испытания эластичных полимерных материалов: патент 12574 Респ. Беларусь: МПК G 01N 3/20 (2006.01) / А.В. Буркин, В.Д. Борозна, А.С. Лядова, Д.К. Панкевич, А.Н. Радюк, А.А. Терентьев; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». — № u 20200088; заявл. 04.04.2020; опубл. 30.04.2021, Бюл. № 2(139).

слои МТМ в меньшей степени влияют на значения показателей исследуемых свойств, поэтому их структурные характеристики в данной работе не рассмотрены как значимые. В таблице 1 представлена характеристика объектов исследования и введены следующие обозначения групп МТМ:

«Л:м» — содержащие монолитный (непористый) гидрофильный мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (19 артикулов);

«Л:гпг» — содержащие гидрофобный пористый губчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (18 артикулов);

«Л:мкс» — содержащие многокомпонентную слоистую гидрофобно-гидрофильную мембрану, соединенную с текстильной основой методом ламинирования (14 артикулов);

«Л:гпс» — содержащие гидрофобный пористый сетчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (10 артикулов), разделены на 2 подгруппы с различным соотношением толщин текстильных и мембранного слоев;

«Л:пг» — содержащие пористый гидрофильный мембранный слой, соединенный с текстильной основой методом ламинирования (15 артикулов);

«П:гпг» — содержащие гидрофобный пористый губчатый мембранный слой, соединенный с текстильной основой наносным (покрытие) способом (17 артикулов).

Таблица 1

Характеристика групп МТМ разных структур

Обозначение группы образцов (объем выборки)	Показатель свойства, обозначение, единицы измерения				
	поверхностная плотность, M , г/м ²	общая толщина МТМ, δ , мм	толщина мембранного слоя, b , мм	разброс размеров подавляющего большинства пор, D , мкм	диаметр пор, вносящих наибольший вклад в массоперенос, d , мкм
Л: м (19)	98÷252	0,25÷1,03	0,01÷0,1	—	—
Л: гпг (18)	122÷168	0,26÷0,34		0,06÷3,02	1,60 ÷2,09
Л: гпс (10)	1 (5) 155÷274	0,22÷0,53		0,08÷3,07	0,06÷0,50
	2 (5) 279÷388	0,63÷1,98		0,09÷1,52	0,3÷0,35
Л: мкс (14)	139÷184	0,16÷0,20		0,07÷1,4	0,60÷0,80
Л: пг (15)	72÷128	0,10÷0,21		0,07÷1,20	0,60 ÷0,95
П: гпг (17)	186÷234	0,12÷0,33		0,12÷16,20	13,00÷16,20

Составлено автором

Кроме материалов исследовали комбинированные ниточно-клеевые соединения шести артикулов исследуемых материалов из группы «Л:гпс», отличающихся толщиной.

Проводили исследование водонепроницаемости по описанным в разделе «методы» методикам с определением показателей времени t (мин) промокания соединения образцов при воздействии на их лицевую сторону гидростатического давления 40 кПа до и после моделирования 5 000 циклов знакопеременного изгиба при стандартных атмосферных условиях по СТБ ISO 139-2008 «Материалы текстильные».

Стандартные атмосферные условия для кондиционирования и испытаний». Соединения получены ниточно-клеевым способом путем наклеивания герметизирующей ленты на трикотажной основе шириной 1,5 см на изнаночную сторону материалов, стачанных на универсальной машине соединительным стачным швом взаутюжку шириной 0,5 см.

Ленту располагали симметрично относительно середины заутюженных припусков стачного шва. Для каждого образца заготавливали по три элементарные пробы для испытаний по каждому показателю. Технологические параметры при изготовлении швов устанавливали в

соответствии с рекомендациями поставщика герметизирующей ленты: температура 370°C, скорость обдува 3,5 м/с, прижим 3,8 Bar, посадка 40 %, скорость движения ленты 1,75 м/мин. Для получения соединений образцы предварительно стачивали на универсальной швейной машине JACK A-4 иглами № 75/11 FFG/SES нитками Coats Epic № 120/024 с частотой стежка 4–5 ст/см. Швы приутюживали перед проклеиванием и после. Характеристика материалов, используемых для получения соединений, представлена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика материалов для соединений

Показатель, единицы измерения	Значение показателя для образцов					
	1	2	3	4	5	6
Поверхностная плотность, г/м ²	274	162	328	336	155	279
Толщина, мм	0,46	0,28	0,98	1,07	0,22	0,66
Гидростатическое давление, выдерживаемое без промокания, кПа	120	80	110	95	128	165
Время промокания при воздействии гидростатического давления 40 кПа, мин	св. 60	св. 60	св. 60	св. 60	св. 60	св. 60
Коэффициент водопаропроницаемости в конце диапазона носки, г/м ² ·24 ч	4 415	4 664	1 860	1 685	2 905	1 768
Тепловое сопротивление, (м ² ·°C)/Вт	0,18	0,16	0,23	0,25	0,17	0,22

Составлено автором

Результаты

Результаты испытаний обобщены в *матрицу функциональности МТМ*, составленную на основании анализа уровня свойств и влияющих на них факторов, для разработки рекомендаций по области применения различных по структуре МТМ. Матрица содержит в строках идентификацию типа структуры МТМ, а в столбцах — наименование свойств и факторов, влияющих на изменение уровня свойства. При этом выявленные в результате испытаний закономерности интерпретированы через дихотомическую шкалу оценки, в которой цифрой 1 обозначен высокий уровень оцениваемого свойства, а цифрой 0 — низкий. Дважды повторенная цифра показывает степень выраженности свойства. В таблице 3 показаны правила интерпретации значений исследуемых показателей свойств через категорию уровня свойства (очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий). Для установления категории свойства по значению показателя использованы данные источников [7–9] и собственные эмпирические данные.

Результаты анализа влияния различных факторов на свойства МТМ опубликованы в работах автора статьи и работах других исследователей [10–14]. Установлено, что значительное влияние на свойства МТМ оказывают их структурные характеристики: толщина δ материала, толщина b мембранного слоя, диаметр d и разброс D размеров пор. Доказано, что изученные свойства изменяются при изменении температуры ΔT и влажности ΔW окружающего воздуха и разности ΔP парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды. Сильная линейная корреляционная связь установлена между коэффициентом водопаропроницаемости и коэффициентом λ_m массопроводности полимера мембраны.

В матрице функциональности МТМ отражены только те зависимости, которые неоднократно проверены автором в условиях лаборатории и путем экспериментальных носок одежды из МТМ. Невыявленные по различным причинам зависимости отражены в матрице функциональности пустой ячейкой (например, для непористых мембран не может быть зависимости свойств от характеристик пористости мембран, а для некоторых групп МТМ испытания не проводились в достаточном объеме).

Позитивные тенденции в изменении значений показателей свойств (когда значение показателя увеличивается при увеличении значения влияющего фактора, либо уменьшается при его уменьшении) под влиянием конкретного фактора обозначены знаком «плюс», негативные — знаком «минус», неопределенность тенденции обозначена знаком «плюс-минус». Удвоенный знак показывает высокий темп изменения свойства при изменении фактора. Так, например, группа материалов определенной структуры демонстрирует в испытаниях очень высокий уровень водонепроницаемости и замечено, что при увеличении толщины мембранного слоя значение показателя постепенно возрастает, а при понижении температуры окружающей среды — резко снижается. Тогда в матрице уровня свойств на пересечении типа структуры МТМ и показателя свойства «водозащита» будет указана цифра 11; на пересечении типа структуры МТМ и фактора «толщина мембранного слоя» будет указан знак «плюс», а на пересечении с фактором «температура воздуха» — удвоенный знак «плюс».

Таблица 3

Правила интерпретации экспериментальных данных о водозащитных МТМ

Критерий функциональности, обозначение (единицы измерения)	Диапазон значений критериев по уровням функциональности				
	00	0	01	1	11
Гидростатическое давление, выдерживаемое без промокания, WPR (кПа)	≤ 8	8÷50	51÷90	91÷200	≥ 201
Время промокания при гидростатическом давлении 40 кПа, t (мин)	≤ 10	10÷30	31÷60	61÷90	≥ 91
Относительная водонепроницаемость после моделирования воздействий, ΔWPR (доли от единицы)	$\leq 0,36$	0,37÷0,52	0,53÷0,75	0,76÷0,85	$\geq 0,86$
Тепловое сопротивление при перепаде температур 40°C, R (м²·°C/Вт)	$\leq 0,14$	0,15÷0,20	0,21÷0,32	0,33÷0,52	$\geq 0,53$
Коэффициент водопаропроницаемости в конце диапазона носки $WVPmax$ (г/м²·24 ч)	$\leq 1\ 000$	1 100÷2 000	2 100÷5 000	5 100÷10 000	$\geq 11\ 000$

Составлено автором

Матрица функциональности МТМ, сформированная на основании анализа результатов испытаний материалов различных структур, представлена в таблице 4.

Таблица 4

Матрица функциональности водозащитных МТМ

Обозначение группы образцов	Показатель / влияющие факторы											
	<i>WPR</i>		<i>t</i>		<i>ΔWPR</i>			<i>R</i>		<i>WVPmax</i>		
	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>ΔT</i>	<i>D</i>	<i>δ</i>	<i>ΔW</i>	<i>δ</i>	<i>ΔP</i>	<i>b</i>	<i>λ_m</i>
Л: м	11		11		01			0		0		
		+		+	++		-	+	+	+	-	++
Л: гпг	01÷1		0÷1		01			00		0÷1		
	--	+	-	+	+	-	-	-	+	+	++	++
Л: гпс 1	1		11		01			00		01÷1		
	--	+	-	+	+	-	-	-	+	++	+	++
Л: гпс 2	11		11		00			01		0÷1		
	-	+	-	+	++	-	--	-	+	++	+	++
Л: мкс	1		11		1			0		01÷1		
	±	+	±	+	+	±	-	+	+	++	±	++
Л: пг	01		01		00			0		0÷01		
		±		±	++	-	-	+	+	+	-	++
П: гпг	00		00		00			0		0÷01		
					++	-	-			+	±	++

Составлено автором

Матрица функциональности МТМ является удобным инструментом при принятии решения по вопросу выбора основного материала для одежды конкретного назначения. По ней можно заранее определить наиболее или наименее желательный тип структуры МТМ, свойства которого более и менее полно соответствуют техническому заданию.

В таблице 5 показан пример использования матрицы для выбора оптимальной структуры МТМ для реализации конкретных задач инженерного конфекционирования. Примеры показывают, что матрица функциональности МТМ позволяет уменьшить объем исследований, отказаться от заведомо неудачного выбора материалов, правильно сформулировать техническое задание на их закупку, выбирать оптимальную структуру МТМ, обладающих необходимым набором и уровнем свойств. Матрица может быть использована для автоматизации процесса конфекционирования материалов для водозащитной одежды.

Таблица 5

Примеры использования матрицы функциональности МТМ

Назначение одежды	Характеристика условий носки	Кодированные значения уровней функциональности по матрице					Оптимальные типы структуры МТМ	Рекомендации по контролируемым показателям
		<i>WPR</i>	<i>t</i>	ΔWPR	<i>R</i>	<i>WVPmax</i>		
Бытовая ветро-водозащитная куртка	Средний уровень физической активности, температурный диапазон носки не ниже +8°C, защита от ветра и дождя средней длительности, надежность	01	01	01	0	01	Л: мкс	ΔR
							Л: гпг	<i>t</i> , <i>WVPmax</i>
Штормовка грибника	Низкий уровень физической активности, температурный диапазон носки не ниже +10°C, длительная защита от ветра и проливного дождя, высокий уровень надежности	11	11	1	0	0	Л: мкс	ΔR
							Л: гпс 1	<i>WPR</i> , ΔWPR
							Л: м	δ
Одежда для бега на лыжах	Высокий уровень физической активности, температурный диапазон носки не выше +2°C, защита от ветра и снега	01	01	0	01	1	Л: гпс 2	<i>WVPmax</i>
							Л: мкс	<i>WVPmax</i> , ΔR
Одежда для велосипедных прогулок	Средний уровень физической активности носчика, температурный диапазон носки не ниже +4°C, длительная защита от ветра и проливного дождя	1	1	0	0	01	Л: гпг	<i>WPR</i> , <i>t</i> , <i>WVPmax</i>
							Л: мкс	ΔR
							Л: гпс 1	ΔR
							Л: гпс 2	ΔR , <i>WVPmax</i>

Составлено автором

Не менее важной задачей конфекционирования материалов в пакет изделия является выбор скрепляющих материалов и режимов соединения деталей из МТМ. Нередко отсутствие рекомендаций или невозможность проведения испытаний на этапе установления режимов обработки сводят на нет усилия по подбору материалов. Для водозащитной одежды это особенно важно в связи с необходимостью сохранения функций водозащиты, надежности и комфортности, выполняемых материалами, после их соединения. Авторами публикаций [15–18] показано, что на качество клеевых соединений сильнейшее влияние оказывает правильный выбор режимов склеивания.

Для обоснования необходимости оценки устойчивости соединений к эксплуатационным воздействиям проведено исследование ниточно-клеевых соединений трехслойных МТМ структурного типа «Л: гпс», используемых для изготовления ветро-водозащитной куртки велосипедиста. Выбранные материалы верха соответствуют всем требованиям к подобной одежде: обладают небольшой массой и толщиной при среднем уровне теплового сопротивления, среднем и высоком уровне водозащитных свойств (табл. 2). По водопаропроницаемости материалы удовлетворяют требованиям к материалам куртки велосипедиста — низкий и средний уровень показателя достаточен для комфортного пребывания в одежде при условии постоянного обдува вследствие перемещения со скоростью около 10 км/ч.

Результаты испытаний комбинированных ниточно-клеевых соединений, полученных из выбранных материалов при одинаковых режимах стачивания и герметизации швов, представлены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты испытаний ниточно-клеевых соединений МТМ

Показатель, единицы измерения	Значение показателя для образца					
	1	2	3	4	5	6
Время промокания при воздействии гидростатического давления 40 кПа, мин	2,5	17	0	0	свыше 60	4,5
Время промокания при воздействии гидростатического давления 40 кПа после 5 000 циклов изгиба, мин	0	6	0	0	свыше 60	0

Составлено автором

Анализ данных таблицы 6 показывает, что для МТМ одной структурной группы, но различной толщины требуется тщательный подбор режимов получения соединений, поскольку рекомендации производителя герметизирующей ленты, одинаково соблюдаемые для всех вариантов МТМ, оказались оптимальными только для одного из шести исследуемых материалов (обладающего наименьшей толщиной). Всего только 5 000 циклов изгиба привели большинство исследуемых соединений к потере или существенному снижению водозащитных свойств. Учитывая тот факт, что каждый раз при выборе режимов герметизации шва для конкретного вида соединяемых и скрепляющих материалов может варьироваться значение 5 параметров (температура, скорость обдува, прижим, посадка/натяжение, скорость движения ленты), объем научно-исследовательской работы по формированию наиболее общих рекомендаций впечатляет. Логичным выходом из этой ситуации представляется возможность оперативного проведения исследований, которую обеспечивает портативный прибор¹ для исследования водонепроницаемости материалов и соединений, а также установка² для моделирования эксплуатационных воздействий.

В результате выполненной работы обобщены экспериментальные данные о структуре и свойствах водозащитных материалов с мембранами различных структур в характерных для одежных материалов температурно-влажностных условиях и дано обоснование области их применения в соответствии с проявляющимися в процессе эксплуатации свойствами. Составленная на основании анализа экспериментальных данных матрица функциональности МТМ позволит быстро принимать решения по вопросам рационального подбора материалов в пакет водозащитной одежды в зависимости от известных условий ее эксплуатации, а разработанные методы и средства исследования свойств водозащитных МТМ, описанные в источниках [6]³, могут применяться для установления оптимальных режимов получения

³ Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления: патент 12855 Респ. Беларусь: МПК G 01N 15/08 (2006.01) / А.Н. Буркин, Д.К. Панкевич, Е.И. Ивашко, А.А. Терентьев. — № 20210283; заявл. 15.10.2021; опублик. 30.12.2022, Бюл. № 6(149).

различных соединений водозащитных текстильных материалов, что подтверждено многочисленными экспериментами, проведенными автором статьи для швейных и обувных предприятий РБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровская, Е.П. Технология герметизации швов водозащитных швейных изделий / Е.П. Покровская. — Саарбрюкен, LAP LAMBERT Academic Publishing (Германия), 2014. — 264 с.
2. Бодяло, Н.Н. Использование клеевых соединений при производстве спортивной одежды / Н.Н. Бодяло, Л.Л. Лисовская // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кострома, 23–24 марта 2023 года / Сост. и отв. редактор Т.В. Лебедева. — Кострома: Костромской государственный университет, 2023. — С. 145–148.
3. Панкевич, Д.К. Классификация и способ идентификации многофункциональных текстильных материалов для водозащитной одежды / Д.К. Панкевич // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности — 2024. Т. 66 № 2. — С. 65–70.
4. Петюль, И.А. Исследование суммарного теплового сопротивления пакетов материалов альтернативными методами / И.А. Петюль, В.В. Сапелко // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2019. — № 1(36). — С. 68–80.
5. Панкевич, Д.К. Разработка критерия оценки способности материалов для водозащитной одежды обеспечивать температурный гомеостаз / Д.К. Панкевич // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2024. № 1. — С. 61–70.
6. Панкевич, Д.К., Буркин, А.Н., Леонов В.В. Оценка водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности / Д.К. Панкевич, А.Н. Буркин, В.В. Леонов // Костюмология. — 2022. Т. 7. № 1.
7. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing / J. Williams. — Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2018. — 590 p.
8. Lomax, G.R. Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, Journal of Materials Chemistry, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
9. Tehrani-Bagha, A.R. Waterproof breathable layers — A review, Advances in Colloid and Interface Science, 2019, Vol. 268, pp. 114–135.
10. Mukhopadhyay, A., Midha, V.K. A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, Journal of Industrial Textiles, 2008, Vol. 37, pp. 225–262.

³ Установка для испытания эластичных полимерных материалов: патент 12574 Респ. Беларусь: МПК G 01N 3/20 (2006.01) / А.В. Буркин, В.Д. Борозна, А.С. Лядова, Д.К. Панкевич, А.Н. Радюк, А.А. Терентьев; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». — № u 20200088; заявл. 04.04.2020; опубл. 30.04.2021, Бюл. № 2(139).

11. Eryuruk, S.H. Effect of fabric layers on thermal comfort properties of multilayered thermal protective fabrics, *Autex Research Journal*, 2019, Vol. 19, No 3, pp. 271–278.
12. Ивашко, Е.И., Буркин, А.Н. Влияние температуры и влажности на свойства водозащитных материалов для специальной одежды // сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», посвященного 110-летию А.Н. Плановского (ISTS «EESTE-2021»): Т. 2 / Москва: ФГБОУ ВО «РГУ имени А.Н. Косыгина», 2021. — С. 134–138.
13. Ивашко, Е.И. Сравнительный анализ водонепроницаемости защитных материалов для специальной одежды / Е.И. Ивашко, А.Н. Буркин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2024. — № 1(409). — С. 70–75.
14. Properties of membrane textile materials for apparel in modeling exploitation wear / A. Burkin, D. Pankevich, K. Ivashko, A. Lyadova // *AIP Conference Proceedings: international conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021)*, Vitebsk, 08–10 июня 2021 года. Vol. 2430. — Vitebsk: AIP PUBLISHING, 2022. — P. 030005.
15. Бондаренко, Л.И. Обеспечение комплекса защитных свойств соединений спецодежды / Л.И. Бондаренко, О.В. Метелева // *Технология текстильной промышленности*. — 2020. — № 1(385). — С. 184–188.
16. Кумпан Е.В. Технологические решения герметизации ниточных соединений водозащитной одежды // *Вестник Казанского технологического университета*. — 2014. — № 15 — С. 59–61.
17. Метелева, О.В. Оптимизация свойств исходных компонентов и структуры герметизирующего материала / О.В. Метелева, Е.П. Покровская // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. — 2011. — Т. 14, № 4. — С. 19–23.
18. Meteleva, O. Research of the influence of the polymer composition structure on the film material properties for special clothes production / O. Meteleva, L. Bondarenko, T. Komarova // *Key Engineering Materials*. — 2021. — Vol. 899 KEM. — P. 98–103.

Pankevich Darya Konstantinovna

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: dashapan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-9033>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=807424

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473436700>

Recommendations on the field of application and on the research of properties of waterproof multifunctional textile materials for clothing

Abstract. The article is devoted to the development of recommendations on the field of application and research of properties of water-protective materials of different structures and their compounds for the purpose of confectioning of materials in the package of clothing. The paper summarizes the results of research of operational and hygienic properties of water-protective multifunctional complex materials with membranes of different structures in temperature and humidity conditions characteristic for clothing materials and substantiates the scope of their application and the need for certain types of laboratory tests to obtain high-quality clothing. The objects of research are waterproof materials containing in their structure textile layers and polymeric membrane, providing a high level of water resistance and at the same time able to pass water vapor.

The study of the structure of materials was carried out, samples of materials united by the principle of similarity of the polymer membrane structure were created, the results of the study of waterproof properties, comfort and reliability in operation of 93 articles of materials were analyzed.

As a result of the work performed, experimental data on the properties of waterproof materials with membranes of different structures in temperature and humidity conditions typical for clothing materials have been generalized and the substantiation of their application area has been given in accordance with the tendencies in changing the level of properties that appear in the process of operation. The matrix of functionality of materials compiled on the basis of the analysis of experimental data will allow to make quick decisions on the issues of rational selection of materials in the package of waterproof clothing depending on the known conditions of its operation, developed methods and means of investigation of properties of waterproof materials with membrane can be used to develop optimal modes of obtaining various types of joints of waterproof textile materials, which is confirmed by experiments conducted by the author of the article for sewing and footwear enterprises.

Keywords: garment; material selection; membrane; waterproof; comfort; reliability; bonding of garment parts; testing