

УДК 687.03
DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_51

**ОЦЕНКА СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ
МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУР***

**EVALUATING THE PROPERTIES
OF MULTILAYER MEMBRANE TEXTILE MATERIALS
WITH DIFFERENT STRUCTURES**

Д.К. ПАНКЕВИЧ, Е.И. ИВАШКО, В.Г. КУДРИЦКИЙ

D.K. PANKEVICH, E.I. IVASHKO, V.G. KUDRITSKIY

**(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси)**

**(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,
Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus)**

E-mail: dashapan@mail.ru; ivashkokatrinka@mail.ru; vladukas@mail.ru

В процессе работы проведена оценка водозащитной функции, теплозащитности и паропроницаемости многослойных мембранных текстильных материалов. Выполнена микроскопия материалов с последующей

* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23-24 ноября 2022 года в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

группировкой образцов по типу структуры. Проанализированы условия эксплуатации водонепроницаемой демисезонной одежды для моделирования их в процессе испытаний. Предложены новая методика и критерий оценки водозащитной способности материалов и алгоритм действий по его определению. Для оценки свойств многослойных мембранных текстильных материалов были выбраны базовые значения единичных показателей. Определены коэффициент водопаропроницаемости, суммарное тепловое сопротивление и критерий полноты реализации водозащитной функции материалов, содержащих полиэфирные текстильные и полиэфируретановые мембранные слои различных структур. Установлено, что материалы с пористой мембраной сетчатой структуры и материалы с комбинированной мембраной, состоящей из монолитного непористого и сетчатого слоев, обладают наиболее высокой водозащитной способностью, паропроницаемостью и тепловым сопротивлением, что позволяет рекомендовать их для изготовления водозащитной демисезонной одежды.

In the process of work, the waterproofing function, thermal protection and vapor permeability of multilayer membrane textile materials were evaluated. Microscopy of materials with subsequent grouping of samples according to the type of structure was performed. Operating conditions of waterproof demi-seasonal clothing are analyzed to simulate them in the process of testing. A new methodology and criterion for assessing the water resistance of materials and an algorithm of actions for its determination have been proposed. The basic values of unit indices have been chosen to estimate the properties of multilayer membrane textile materials. Coefficient of water-permeability, total thermal resistance and criterion of completeness of water-protective function realization of materials containing polyester textile and polyetherurethane membrane layers of different structures are determined. It has been established that materials with a porous mesh structure membrane and materials with a combined membrane consisting of monolithic non-porous and mesh layers have the highest waterproofing capacity, vapor permeability and thermal resistance, which allows recommending them for manufacturing waterproof demi-seasonal clothing.

Ключевые слова: водозащитные свойства, мембрана, структура, водопаропроницаемость, суммарное тепловое сопротивление, критерий полноты реализации водозащитной функции.

Keywords: waterproofing properties, membrane, structure, water vapor permeability, total thermal resistance, criterion of completeness of water-protective function.

Введение

Сегодня понимание потребительских свойств материалов для одежды претерпело изменения. Смена модели потребления, развитие способов торговли и коммуникации с потребителем, появление новых высокотехнологичных продуктов, повышение требовательности покупателя и формирование ответственного отношения к потреблению [1] приводят к тому, что каждый

покупатель одежды хочет и имеет право точно знать, какие именно функции она гарантированно способна выполнить, как долго и при каких условиях.

Поэтому при исследовании и оценке свойств материалов для одежды необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации, в которых материалы проявляют комплекс потребительских свойств как набор полезных для потребителя

функций, четко определенных на всех промежутках многофакторного пространства условий использования [2].

Благодаря развитию технологий получения композиционных материалов, сегодня удается добиваться многофункциональности при сохранении базовых свойств текстильных материалов: прочности, гибкости, легкости.

Особенный класс многофункциональных материалов, интерес к которому в настоящее время неуклонно растет, представлен широким ассортиментом материалов, которые получены как объемное сочетание текстильных полотен и тонких полимерных пленок – мембран, обладающих способностью пропускать пары влаги, но препятствовать проникновению воды и потока воздуха [3]. Такие материалы называют многофункциональными, поскольку они выполняют в одежде сразу несколько функций. Многофункциональный текстильный материал – это текстильный материал, который проявляет несколько отличных от эстетических полезных для потребителя функций, набор и механизм действия которых четко определен, заранее задан и поддается измерению. Многофункциональность мембранных текстильных материалов обеспечивается вариативностью структур и взаимного расположения составляющих их слоев и проявляется в сочетании свойств: растяжимость, водо- и воздухопроницаемость, паропроницаемость, высокий уровень теплозащитных свойств при относительно малой толщине и поверхностной плотности. Они открывают перед производителями одежды заманчивые перспективы создания легкой и комфортной одежды различного назначения, технологический процесс изготовления

которой ограничивается проектированием, раскроем и соединением единого покровного пакета материалов, содержащего в себе и ветро-влажностный, и подкладочный, и прокладочный, и утепляющий слои. Это значительно удешевляет процессы проектирования и конструкторско-технологической подготовки швейного производства, подготовки материалов к раскрою, раскрою и пошива изделий.

Ассортимент многослойных мембранных текстильных материалов очень широк, разнообразны и типы структур таких материалов, а опыт их применения в качестве материалов для одежды в Республике Беларусь ограничен, поэтому важной научной задачей является оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов различных структур в конкретных условиях внешней среды для формирования рекомендаций по области их применения.

Цель исследования – оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов, предназначенных для изготовления демисезонной одежды, как функций, проявляющихся в конкретных условиях эксплуатации.

Объекты испытаний

Для поведения испытания были отобраны образцы многослойных мембранных текстильных материалов, содержащих полиэфируретановые мембраны и полиэфирные текстильные слои, производства "Taslan" (Китай), "Hipora", "Ultrex" (Республика Корея), предназначенных для комплектации изделий легкой промышленности на швейных предприятиях Республики Беларусь. Характеристика образцов представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Структура					
		текстильного тканого (трикотажного) слоя				мембраны	
		толщина (лицо / изнанка), мм	переплетение нитей (лицо / изнанка)	количество нитей (петель) на 10 см		толщина слоев, мм	
по основе (столбиков) лицо / изнанка	по утку (рядов) лицо / изнанка			пористого	монолитного		
1	245	0,42/ 0,22	кулирное двойное / кулирное комбинированное прессжаккардовое нерегулярное	(210)/ (160)	(230)/ (180)	0,02	нет

2	305	0,32/ 0,22	семигольное трико / гладкое платирированное основовязаное	(130)/ (130)	(210)/ (150)	0,05	0,02
3	274	0,24/ 0,38	одинарное поперечно- соединенное / двуласт- тичное	(210)/ (230)	(300)/ (230)	0,03	нет
4	328	0,30/ 0,72	кулирн. гладь / сочета- ние поперечносоеди- ненного и плюшевого	530/ 130	320/ 160	0,03	нет
5	270	0,41/ 0,38	сочетание поперечносо- единенного и плюше- вого / ластик 1+1	(130)/ (200)	(150)/ (380)	нет	0,04
6	338	0,32/ 0,65	полотняное / двуласт- тичное с подворсовкой	500/ (280)	420/ (340)	0,08	нет

Методы исследований

Анализ литературных источников [4...6] показал, что демисезонная одежда эксплуатируется при температуре наружного воздуха от -5°C до $+10^{\circ}\text{C}$, при интенсивном обветривании, воздействии дождя и иногда снега, при относительной влажности воздуха от 62 до 89% и высокой облачности [4]. Среднее время носки демисезонной одежды в условиях открытого воздуха обычно составляет не более 2 часов.

Поэтому в качестве определяющих показателей эксплуатационных свойств или критических функций материалов данного назначения выбрали новый критерий полноты реализации водозащитной функции [7] за 2 часа, коэффициент водопаропроницаемости и тепловое сопротивление, исследуемые в условиях, близких к эксплуатационным.

Выбор нового критерия и методики оценки водозащитных свойств многослойных материалов обусловлен в первую очередь невозможностью применения стандартных методов исследования, поскольку капли воды, прошедшие сквозь многослойный композиционный материал, не визуализируются, а капиллярно впитываются изнаночной стороной композита.

В основу методики оценки полноты реализации водозащитной функции положен метод электрогидродинамической аналогии [7], который может быть реализован с помощью прибора, разработанного на кафедре "ТРИТ" Витебского государственного технологического университета [8]. Прибор позволяет вести наблюдение за процессом промокания материала при подаче на лицевую сторону образца мате-

риала заданного гидростатического давления. Это возможно благодаря датчику-водоснимателю, установленному в крышке прибора, соприкасающейся с изнаночной стороной образца материала, намокающего под действием гидростатического давления. В электрическую цепь прибора подключают параллельно источник тока с напряжением 10 В и цифровой мультиметр (типа АРРА-207) с программным обеспечением, которое автоматически регистрирует силу тока в системе "вода-образец-датчик" каждые 0,5 с с точностью 0,004 мА.

Промокание материалов по разработанной методике наблюдают при давлении промокания P_p , которое определяют путем дискретного повышения давления со скоростью 0,1 МПа в минуту до изменения силы тока свыше 0,004 мА, либо при заданном требуемом давлении P_t . При этом регистрируют время наступления следующих стадий намокания:

t_1 – начало точечного насыщения материала влагой – соответствует возникновению в сети тока силой 0,1 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 3 до 9%;

t_2 – полное насыщение материала влагой – соответствует возникновению в сети тока силой 0,15 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 10 до 36%;

t_3 – начало сквозного промокания – соответствует возникновению в сети тока силой 0,2 мА, привес влаги в объеме образцов составляет от 37 до 65%;

t_4 – сквозное промокание – соответствует возникновению в сети тока силой 0,25 мА. Информация о кинетике промокания, полученная по разработанной методике, дает возможность визуализировать индиви-

дуальный характер процесса промокания текстильных материалов путем построения графика, изображенного на рис. 1 (график функции времени промокания материалов).

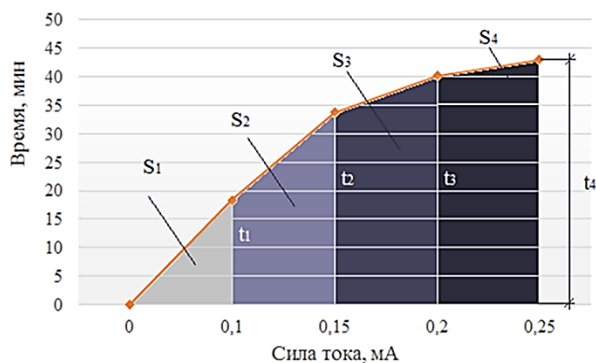


Рис. 1

График функции делит область построения на два участка: верхний левый (над графиком) площадью S_v и нижний правый площадью S_n (под графиком). Чем больше общая площадь S прямоугольника области построения, тем медленнее промокает материал. Чем меньше площадь $S_n = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$ и чем ближе график функции к оси абсцисс, тем выше интенсивность промокания на начальных стадиях, это означает, что носчик начнет раньше ощущать дискомфорт в водозащитной одежде из такого материала. Если график функции расположен ближе к оси ординат, то длительное время материал будет практически сухим изнутри. Критерием K полноты реализации водозащитной функции материалов при требуемом давлении P_t промокания является рассчитываемая по графику времени промокания безразмерная величина S_n/S . Чем она ближе к единице, тем лучше материал защищает от воздействия воды при давлении P_t .

Площади участков графика рассчитываются элементарно, как сумма площадей прямоугольного треугольника и трапеций с известными длинами оснований и высот. Оценку соответствия водозащитных свойств материала назначению с использованием разработанного критерия предлагается проводить в следующей последовательности.

1. Определение требуемого уровня выдерживаемого без промокания гидроста-

тического давления P_t и требуемой длительности t_t водозащитной функции. Для исследуемого ассортимента одежды (бытовая демисезонная одежда, защищающая от атмосферных осадков) требуемый уровень выдерживаемого без промокания гидростатического давления P_t составит 0,1 МПа и требуемая длительность t_t водозащитной функции установлена 120 мин. Указанное значение P_t выбрано на основании данных исследований J. Williams, опубликованных в [5], согласно которым водонепроницаемость 0,1 МПа достаточна для защиты от умеренного дождя или снега средней интенсивности.

2. Определение давления промокания P_p по разработанной методике. При условии $P_p \geq P_t$ определение времени t_1, t_2, t_3, t_4 наступления стадий промокания материала при давлении P_t и расчет критерия K относительно площади прямоугольника, ограниченного по оси ординат величиной t_t , по формуле:

$$K = \frac{S_n}{0,25t_t}. \quad (1)$$

Если в течение заданного времени очередная стадия промокания не наступила, то вся оставшаяся площадь области построения считается принадлежащей участку под кривой. Поскольку неизвестно, по какой именно траектории будет развиваться график функции выше значения t_t , принято допущение, что в этом случае при расчете площади S_n время последней зарегистрированной стадии промокания следует считать точкой перегиба, в которой график строит параллельно оси ординат. То есть вся оставшаяся справа от графика площадь будет принадлежать S_n .

При условии $P_p < P_t$ дальнейшие исследования проводить не имеет смысла, а материал использовать для данного изделия нельзя.

При изучении структуры образцов проводили исследование лицевой, изнаночной стороны и поперечного среза мембранного материала. Применяли метод сканирующей электронной микроскопии (электронный микроскоп VEGA II LSH с системой

энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD с программным обеспечением). Наблюдали поверхность мембраны и области соединения слоев между собой.

Для исследования теплоизоляционных свойств мембранных материалов применяли методику, описанную в [9]. В основу методики положен принцип нестационарного теплового режима. Его сущность заключается в определении времени охлаждения нагретого тела, изолированного от окружающей среды исследуемым материалом. Суммарное тепловое сопротивление образца $R_{\text{сум}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) вычисляли по формуле, предложенной в [9].

Для исследования способности многослойных мембранных текстильных материалов различных структур пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости, определяли коэффициент водопаропроницаемости в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 57514-2017 "Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия" [10]. Установленные стандартом климатические условия моделировали в климатической камере УТН-408-40-1Р ("Tuantao", Китай). Рассчитывали коэффициент водопаропроницаемости по результатам взвешивания на лабораторных электронных весах РА 214 С ("ОНАУС Corporation", США) стаканчиков с водой, закрытых исследуемыми образцами, с интервалом времени 6 часов.

Оценку каждой критической функции проводили дифференциальным методом, который подробно изложен в источнике [11]. Рассчитывали относительные показатели свойств как отношение фактических значений показателей к базовым.

Оценку полученного критерия полноты реализации водозащитной функции проводили исходя из того, что $K=1$ – базовое значение критерия – интерпретируется как полностью реализованная водозащитная функция материала при заданных значениях давления промокания и времени защиты от воды (в течение заданного времени не наблюдали ни одной стадии промокания).

Для установления базовых значений единичных показателей паропроницаемости и теплозащитных свойств исследуемых материалов воспользовались данными из [10], [12]. Базовое значение коэффициента водопаропроницаемости в соответствии с [10] приняли на уровне $560 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, базовое значение суммарного теплового сопротивления при температуре -5°C для двухчасового пребывания, рекомендуемое [12] при энергозатратах человека 250 Вт, соответствующих средней двигательной активности, приняли на уровне $0,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Результаты и обсуждения

Результаты микроскопии образцов представлены на рис. 2...4.

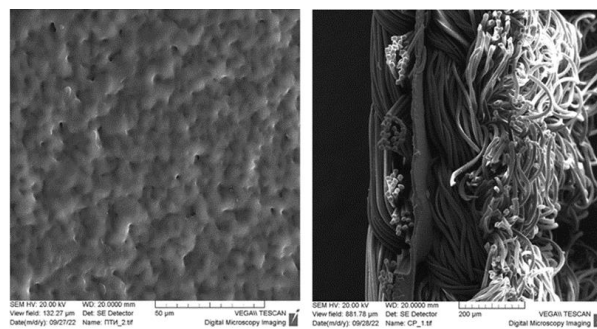


Рис. 2

На рис. 2 (поверхность $\times 4500$) и поперечный срез ($\times 1800$), типичные для образцов №1 и №5 представлено изображение структуры образца №1, схожей со структурой образца №5. Образцы №1 и №5 состоят из трех слоев: трикотажное полотно, мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин 8/1/15, точно соединенных между собой. Толщина мембраны сопоставима с диаметром одного филамента комплексной нити трикотажного полотна. Структура мембраны изотропная, практически без пор, на поверхности мембраны наблюдаются единичные поры с диаметром устья не более 2 мкм.

На рис. 3 (поверхность $\times 4500$) и поперечный срез ($\times 450$) образца №2 представлено изображение структуры образца №2, состоящего из трех слоев: трикотажное полотно, мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин 4/1/7, точно соединенных между собой. Мембрана у образца №2 комбинированная и состоит из двух

примерно одинаковых по толщине слоев – монолитного непористого и пористого, имеющего сетчатую структуру. Сетчатый слой мембраны обладает самой высокой пористостью среди всех рассмотренных образцов. Общая толщина мембраны сопоставима с двумя диаметрами одного филламента комплексной нити трикотажного полотна.

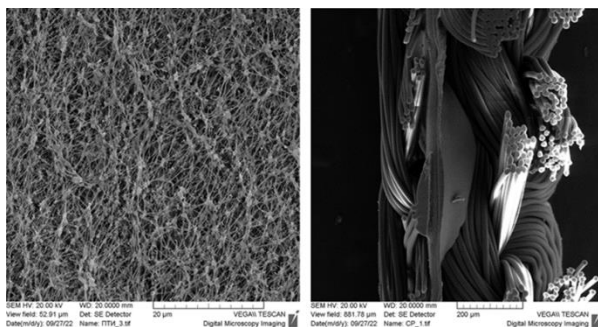


Рис. 3

На рис. 4 (поверхность ($\times 4500$) и поперечный срез ($\times 450$), типичные для образцов №3, №4, №6) представлено изображение структуры образца №3, схожей со структурой образцов №4, №6, которые состоят из трех слоев: трикотажное полотно (в

образце №6 – ткань), мембрана, трикотажное полотно в соотношении толщин 15/1/20, точно соединенных между собой. Мембрана у образцов пористая, сетчатой структуры, но, в отличие от пористого слоя мембраны образца №2, имеет более плотный застил полимерными волокнами большей толщины. Толщина мембраны сопоставима с диаметром одного филламента комплексной нити трикотажного полотна.

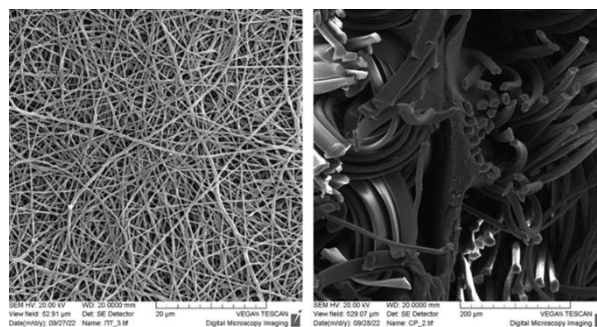


Рис. 4

Результаты исследования и оценки полноты реализации водозащитной функции при гидростатическом давлении $P_t = 0,1$ МПа и времени промокания 120 мин представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер образца	Время наступления стадий промокания				Критерий полноты реализации водозащитной функции, К
	Начало точечного насыщения, t_1 , мин	Полное насыщение, t_2 , мин	Начало сквозного промокания, t_3 , мин	Сквозное промокание, t_4 , мин	
1	45	46	54	55	0,325
2	87	нет	нет	нет	0,745
3	68	103	нет	нет	0,656
4	53	109	нет	нет	0,624
5	Образец промок при гидростатическом давлении 0,08 МПа				0
6	62	81	118	нет	0,623

По данным табл. 2 видно, что образец №5 не прошел испытания, так как он промок насквозь при гидростатическом давлении 0,08 МПа, поэтому выбыл из исследования как не соответствующий требованиям по одной из критических функций. Образец №1 промок насквозь раньше, чем истекла половина требуемого времени, остальные образцы насквозь не промокли, но насытились влагой успели. Образец №2 реализовал свою водозащитную функцию наиболее полно при заданных условиях, поскольку для него зарегистрирована только стадия начала точечного насыщения.

Результаты испытаний по рассматриваемым показателям и оценка функциональности образцов материалов представлены в табл. 3.

Из данных табл. 2 и 3 видно, что самой высокой водозащитной способностью обладает образец №2. Относительный показатель водопаропроницаемости этого образца составляет 3,16, а относительное суммарное тепловое сопротивление 0,7. Этот образец можно рекомендовать в качестве покровного для одежды потребителей с высокими энергозатратами, увлекающихся спортом и активным отдыхом, длительное

время проводящих на открытом воздухе в движении. Модели одежды из этого материала рекомендуется проектировать с увеличенной прибавкой, чтобы при пони-

женной температуре воздуха можно было добавить дополнительный слой одежды, увеличив суммарное тепловое сопротивление пакета.

Т а б л и ц а 3

Номер образца	Критерий полноты реализации водозащитной функции	Водопаропроницаемость, г/(м ² ·24ч), по ГОСТ Р 57514-2017	Относительная водопаропроницаемость	Суммарное тепловое сопротивление при температуре -5°C, R _{сум} , м ² ·°C/Вт	Относительное суммарное тепловое сопротивление
1	0,325	468	0,84	0,191	0,68
2	0,745	1770	3,16	0,196	0,70
3	0,656	2726	4,87	0,211	0,75
4	0,624	2348	4,19	0,235	0,83
6	0,623	646	1,15	0,210	0,75

Несоответствие назначению по рассматриваемым критическим функциям отмечено у образца №1. Водозащитная функция этого образца реализуется неполно, паропроницаемость низкая, суммарное тепловое сопротивление недостаточное. Данный образец входил в группу схожих по структуре с образцом №5, который не выдержал испытание заданным гидростатическим давлением. Многослойные мембранные текстильные материалы подобной структуры нельзя рекомендовать для изготовления демисезонной одежды.

В группе структурно близких образцов №3, №4 и №6 получены достаточно высокие значения относительных показателей всех функций: образцы не промокают за 2 часа воздействия гидростатического давления 0,1 МПа, обладают высоким уровнем паропроницаемости, превышающим нормативное значение, а их теплозащитные свойства достаточны при условии добавления в пакет одежды одного-двух слоев. Поэтому материалы подобной структуры можно рекомендовать для изготовления демисезонной одежды.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования показал, что группы образцов, объединенные по схожей структуре материала, характеризуются близкими значениями показателей критических функций.

К рекомендуемым для изготовления водозащитной демисезонной одежды можно

отнести многослойные мембранные текстильные материалы с мембранной сетчатой структурой или с комбинированной мембраной, состоящей из двух примерно одинаковых по толщине слоев – монолитного непористого и сетчатого, поскольку они обладают высоким уровнем паропроницаемости, не промокают в течение двух часов и обеспечивают довольно высокий уровень защиты от пониженной температуры наружного воздуха, а следовательно, выполняют все критические функции демисезонной одежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайтанова М. М. Современное понимание комплекса потребительских свойств одежды // Костюмология. – 2022. Т. 7. № 1.
2. Панкевич Д.К., Буркин А.Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. – 2022, № 2(56). С. 5...10.
3. Бешапонишкова В.И., Климова Н.А., Бешапонишкова Н.В., Ковалева Н.Е. Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С.51...54.
4. Болотко Л. М. Динамичные климатические нормы метеопараметров для г. Минска // Природные ресурсы. – 2021, № 1. С. 5...14.
5. Williams J.T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier. – Woodhead Publishing Ltd, 2018.
6. William, C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier. – Wood head Publishing Ltd, 2010.
7. Панкевич Д.К., Буркин А.Н., Леонов В.В. Оценка водозащитных свойств мембранных мате-

риалов для изделий легкой промышленности // Костюмология. – 2022. Т. 7. № 1.

8. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления, патент РБ № 12855, МПК G01N15/08, заявлено 2021.15.10, опубликовано 30.04.2022, Бюл. № 2

9. Петюль И.А., Санёлко В.В. Исследование суммарного теплового сопротивления пакетов материалов альтернативными методами // Витебского государственного технологического университета. – 2019, №1 (36). С. 68...80.

10. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия, введ. 01.04.18. – М.: Стандартинформ, 2017.

11. Гличев А. В. Основы управления качеством продукции. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2001.

12. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1971.

REFERENCES

1. *Shaitanova M. M.* Modern understanding of the complex of consumer properties of clothing // *Kostyumologiya*. - 2022. Т. 7. № 1.

2. *Pankiewicz D.K., Burkin A.N.* The methodology of evaluating the properties of materials for waterproof clothing // *Technologies and Quality*. - 2022, № 2(56). P. 5...10.

3. *Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A., Besshaposhnikova, N.V., Kovaleva, N.E.* Effect of operational factors on the vapor permeability of membrane fabrics and clothing bags // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. - 2020, № 6. С. 51...54.

4. *Bolotko L.M.* Dynamic climatic norms of meteoroparameters for Minsk // *Natural Resources*. - 2021, №1. P. 5...14.

5. *Williams J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier. – Woodhead Publishing Ltd, 2018.

6. *William, C. Smith.* Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier. – Wood head Publishing Ltd, 2010.

7. *Pankiewicz, D.K., Burkin, A.N., Leonow, V.V.* Estimation of Waterproof Properties of Membrane Materials for Light Industry Articles // *Kostyumologiya*. - 2022. Т. 7. № 1.

8. Apparatus for determination of waterproof properties of materials by hydrostatic pressure method, Patent RB № 12855, IPC G01N15/08, applied 2021.15.10, published 30.04.2022, Bulletin № 2

9. *Petul, I.A., Sapyolko, V.V.* Investigation of total thermal resistance of packages of materials by alternative methods // *Vitebsk State Technological University*. - 2019, №1 (36). С. 68...80.

10. GOST R 57514-2017 Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions, introduced. 01.04.18. – Moscow, Standardinform, 2017.

11. *Glichev, A.V.* Fundamentals of Product Quality Management. - Moscow : RIA "Standards and Quality", 2001.

12. *Kolesnikov P.A.* Fundamentals of designing heat protective clothing. - Moscow, publishing house "light industry", 1971.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде и обуви (ICTAI-2022)". Поступила 01.11.22.