

СПОСОБ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОДОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ*

METHOD AND CRITERIA FOR ASSESSING WATERPROOF PROPERTIES OF MATERIALS AND PRODUCTS MADE OF THEM

Д.К. ПАНКЕВИЧ

D.K. PANKEVICH

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: dashapan@mail.ru

В статье отражена разработка новых критериев оценки водозащитных свойств материалов для одежды и представлены результаты исследования водонепроницаемости комплексных текстильных материалов с мембраной новым способом, который основан на совпадении уравнений фильтрации несжимаемой жидкости с уравнениями, описывающими стационарное течение электрического тока в проводнике. В процессе нагружения материалов гидростатическим давлением в электрическом поле выделены четыре стадии промокания материала, развивающиеся во времени, которым соответствуют определенное напряжение, привес влаги в материале и конкретные теплоощущения человека. Представлено обоснование способа исследования, показаны его преимущества по сравнению с другими, выполнены испытания двухслойных материалов, содержащих мембраны различных структур: непористую гидрофильную, пористую гидрофобную, пористую гидрофильную и комбинированную. Все материалы испытаны в одинаковых условиях, по результатам построены графики промокания материалов, выявлены характерные особенности промокания материалов различных структур и показана возможность использования нового способа для идентификации типа мембраны в составе комплексного материала по графику промокания.

Для каждого материала по результатам испытаний рассчитан динамический критерий уровня водозащитной функции, который показывает относительное значение «сухости» материала при воздействии заданного давления воды в течение заданного времени, оцениваемое с учетом теплоощущений человека. По результатам исследования 32 артикулов материалов выявлено, что наибольшее значение критерия характерно для материалов, содержащих комбинированную мембрану. Разработаны рекомендации по применению водозащитных комплексных материалов, содержащих мембраны различных структур, при производстве одежды различного назначения. Показано, что новый критерий оценки водозащитной функции материалов для одежды позволяет определить способность материала пропускать через себя жидкость в заданных условиях и обеспечивать ощущение комфорта человека в течение заданного времени.

The paper reflects the development of new criteria for assessing the waterproof properties of clothing materials and presents the results of the study of water resistance of complex textile materials with membrane by a new method, which is based on the coincidence of the equations of incompressible fluid filtration with the

equations describing the stationary flow of electric current in a conductor. In the process of loading materials with hydrostatic pressure in an electric field, four stages of material wetting are distinguished, developing in time, which correspond to a certain voltage, moisture gain in the material and specific heat sensations of a person. The substantiation of the research method is presented, its advantages in comparison with others are shown, tests of two-layer materials containing membranes of different structures: non-porous hydrophilic, porous hydrophobic, porous hydrophilic and combined. All the materials were tested under the same conditions, the results were used to construct moisturizing graphs of the materials, to reveal characteristic features of moisturizing of materials of different structures and to show the possibility of using a new method for identifying the type of membrane as part of a complex material by the moisturization graph.

For each material, the dynamic criterion of the level of waterproof function was calculated based on the results of tests, which shows the relative value of "dryness" of the material when exposed to a given water pressure for a given time, evaluated taking into account the human heat sensation. According to the results of the study of 32 articles of materials it was revealed that the highest value of the criterion is characteristic for materials containing a combined membrane. Recommendations on the application of waterproof complex materials containing membranes of different structures in the production of clothing for various purposes have been developed. It is shown that the new criterion for assessing the waterproof function of clothing materials allows to evaluate the ability of the material to pass through the liquid in given conditions and provide a sense of human comfort for a given time.

Ключевые слова: одежда, комплексные материалы, мембрана, водонепроницаемость, увлажнение, теплоощущение.

Keywords: clothing, complex materials, membrane, waterproofness, moisturizing, heat sensation.

Введение

В настоящее время исследование водозащитной функции материалов для одежды при воздействии на них гидростатического давления сопряжено с рядом проблем. Существующие методы и приборы помогают получить информацию о том, как проявляется водозащитная функция материала в заданных условиях, создаваемых существующими средствами испытаний, но далеких от условий эксплуатации. Чаще всего в процессе стандартного испытания моделируется пространственное растяжение зажатого по окружности участка материала, что позволяет установить прочность материала при продавливании, и результат испытания регистрируется при появлении капель на изнаночной стороне деформированного в процессе исследования материала. При этом весь процесс имеет мало общего с воздей-

ствием воды на материалы для одежды в условиях эксплуатации.

Для выявления проблем оценки выполнения материалами для одежды функции водозащиты проанализирована нормативная и приборная база исследования их водонепроницаемости [1]. Выявлен ряд недостатков, часть из которых представлена в виде анализа причинно-следственных связей в табл. 1.

Основным недостатком существующих средств исследования является открытая испытательная ячейка гидростатических приборов и несоответствие условий испытаний условиям эксплуатации, что приводит к низкой информативности получаемых результатов исследования. На сегодняшний день не выявлено стандартных методов исследования способности материалов противостоять воздействию значи-

тельного напора воды, в которых исследуемый показатель был бы связан с непосредственным восприятием нарастающей влажности материала органами чувств человека. В действительности при промокании

одежды или обуви под воздействием гидростатического давления человек ощущает изменение температуры поверхности соприкасающихся с телом материалов.

Т а б л и ц а 1

Причина	Следствие	Проблема
Открытая испытательная ячейка	Прогиб, увеличение площади, нарушение структуры, разрушение, расслаивание образца	Несоответствие условий испытания условиям эксплуатации; различные условия для различных по растяжимости материалов
Пневматический прижим	Поддув вытесненного из резиновой прокладки воздуха под пробу	Ненулевое начальное значение гидростатического давления
Необходимость подключения к компрессору	Энергоемкость, громоздкость оборудования	Невозможность проведения испытаний в полевых условиях
Большой размер испытательной ячейки	Большой размер элементарной пробы	Невозможность проведения испытаний после моделирования эксплуатации
Визуальная регистрация промокания	В некоторых случаях капли не визуализируются (например, на ворсовом текстильном слое)	Невозможность идентификации завершения испытания
Идентификация промокания при появлении капель	Объем материала может быть заполнен водой, а промокание не зарегистрировано	Отсутствие информативности показателя для потребителя

В работах О.В. Метелёвой впервые предложен и развит методический подход к оценке водозащитных свойств материалов для одежды, основанный на изменении теплоощущений человека в промокающей одежде и предусматривающий возможность исследования и пакетов материалов, и узлов швейного изделия [2]. Ею предложен способ определения водопроницаемости материалов для швейных изделий и устройство для его осуществления, основанное на создании небольшой разности давлений и разности температур по обе стороны образца и регистрации изменения температуры внешней и внутренней поверхностей образца, а также внутри пакета с одновременной регистрацией поверхностного электрического сопротивления, которое также изменяется при изменении влажности материалов. Данный способ не предполагает создания значительного гидростатического давления, которое имеет место при реальной эксплуатации одежды и обуви.

В источнике [3] описано устройство для определения водоупорности текстильных материалов, где роль рецепторов кожи че-

ловека играет датчик-узел для расположения образца, на который разбрызгивают воду под давлением. Датчик реагирует на изменение электрического сопротивления испытуемого образца при его сквозном промокании, но он имеет большие размеры, поэтому для реализации предложенного способа соответственно необходим и большой размер исследуемого образца.

На принципе изменения электрической проводимости кожи при намокании основан метод определения водопромокаемости кож, изложенный в ГОСТ 938.21-71 «Кожа. Метод определения водопромокаемости и водопроницаемости в статических условиях» и в ГОСТ 938.22-71 «Кожа. Метод определения водопромокаемости и водопроницаемости в динамических условиях». Для проведения испытания используется дистиллированная вода температурой $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, в которую добавляют поваренную соль 5 г/дм^3 для стабилизации электропроводности воды. Момент промокания материала определяется рекомендуемыми стандартами приборами ПВС-2 и ПВД-2 автоматически за счет замыкания электрической цепи.

Свойство электрической проводимости использовал и Н.Н. Павловский, разработавший метод электрогидродинамической аналогии (ЭГДА), который основан на совпадении уравнений фильтрации несжимаемой жидкости с уравнениями, описывающими стационарное течение электрического тока в проводнике. При этом аналогия заключается в том, что при движении жидкости в некоторой среде ее напор пропорционален силе тока, возникающей при ее движении в геометрически аналогичной среде, а скорость движения потока жидкости пропорциональна напряжению [4]. Многие электрохимические методы исследования материалов основаны на том, что при помещении диэлектрика во влажную среду его электропроводность увеличивается [5, 6].

Большинство материалов легкой промышленности являются диэлектриками, однако водный раствор электролитов, проникая в структуру материала, изменяет его проводимость. Соответственно, при прочих равных условиях, чем больше токопроводящей жидкости проникнет в материал, тем больше будет его проводимость. Электрохимические методы обеспечивают возможность отслеживания перемещения потока воды в анизотропной структуре материалов легкой промышленности и позволяют определять время прохождения воды через материал при различных значениях воздействующего на материал гидростатического давления, а также степень его намокания в различные моменты времени и характер этого процесса (стремительный, замедленный, скачкообразный). При этом исключаются основные проблемы, возникающие при исследовании водонепроницаемости с помощью стандартных методик и средств, обусловленные визуальной регистрацией момента промокания и деформацией образца в открытой испытательной ячейке.

Методы

Электрохимический метод исследования промокания материалов для одежды реализован с помощью нового портативного прибора, разработанного коллективом авторов УО «ВГТУ» [7].

Прибор позволяет вести наблюдение за процессом промокания материала при подаче на лицевую сторону образца материала заданного гидростатического давления в диапазоне от 40 кПа до 800 кПа. Это возможно благодаря системе регулирования давления и датчику-водоснимателю, установленному в крышке прибора, соприкасающейся с изнаночной стороной образца намокающего материала. В электрическую цепь прибора подключали параллельно источник тока и цифровой мультиметр (типа АРРА-207) с программным обеспечением, которое автоматически регистрирует напряжение в системе «раствор-образец-датчик» каждые 0,5 секунды с точностью 0,001 В.

Реализуемый прибором способ исследования промокания материалов под давлением основан на измерении напряжения, нарастающего в цепи при воздействии давления на систему «раствор-образец-прибор» и промокании материала. Способ пригоден для оценки водозащитной способности материалов по шкале от «влажный на ощупь» до «сквозное проникание воды», что позволяет более точно по сравнению со стандартным методом идентифицировать различные состояния материалов и изделий из них при кратковременном или длительном воздействии гидростатического давления заданной величины без их разрушения и деформации.

Способ основан на совпадении уравнений фильтрации несжимаемой жидкости с уравнениями, описывающими стационарное течение электрического тока в проводнике. Для проведения испытания используется дистиллированная вода со стабилизированной удельной проводимостью, соответствующей проводимости атмосферных осадков (раствор поваренной соли по ГОСТ 938.21-71 и ГОСТ 938.22-71). Солевой раствор приводят в контакт с лицевой стороной исследуемого образца, через систему «раствор-образец-прибор» пропускают электрический ток, повышают до заданного уровня гидростатическое давление и наблюдают процесс промокания материала во времени по росту напряжения в системе, на основании чего делают вывод о степени насыщения материала водой.

По результатам экспериментов выявили 4 стадии промокания материала, развивающиеся во времени, которым соответствуют определенное напряжение U , В, привес влаги в материале Δw , %, и конкретные тепло-

ощущения человека при контакте с изнаночной стороной намокающего материала относительно теплоощущения при контакте с сухим материалом (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Обозначение и наименование стадии промокания	U , В	Δw , %	Теплоощущение человека
t_1 – начало насыщения влагой	3	3-9	Не изменяется
t_2 – полное насыщение влагой	6	10-36	Едва заметное охлаждение
t_3 – начало сквозного промокания	9	37-65	Хорошо заметное охлаждение
t_4 – сквозное промокание	12	66-82	Увлажнение

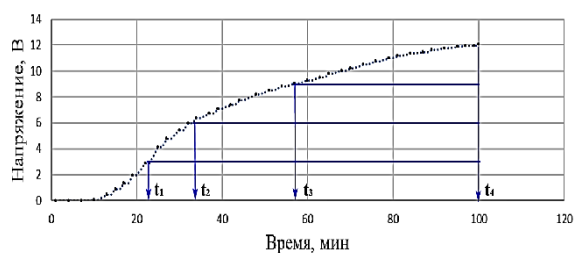


Рис. 1

Наступление каждой стадии регистрируется прибором в автоматическом режиме, данные о нарастании напряжения передаются программой в табличный редактор для построения графика промокания (рис. 1).

В зависимости от целей исследования в качестве критериев оценки водозащитной функции материала по результатам испытаний предложено использовать следующие величины:

- давление P_n промокания – это величина гидростатического давления, при которой скорость изменения напряжения в системе «раствор-образец-прибор» превышает 0,1 В в минуту по результатам 10-минутного экспресс-теста, критерий предназначен для оценки принципиальной возможности использования материала для защиты от воздействия гидростатического давления заданной величины;

- время t_n промокания материала при заданном давлении P_T , критерий предназначен для оценки максимально возможной длительности реализации материалом водозащитной функции при заданном давлении;

- динамический критерий $K_{вд}(P_T, t_T)$ уровня водозащитной функции материалов, для расчета которого необходимо определять время наступления каждой стадии

промокания, он показывает, насколько сухим на ощупь остается материал в процессе непрерывного воздействия на него гидростатического давления P_T требуемой величины в течение требуемого времени t_T .

По определению первая стадия промокания на ощупь с изнаночной стороны образцов материалов не ощущается, а вторая едва заметна. Чтобы учесть различный вклад каждой отдельной стадии промокания в тактильно оцениваемую носчиком функцию водозащиты, предложено регистрировать время наступления каждой стадии промокания в единой области определения от нуля до значения времени наступления сквозного промокания (при 12 В).

При этом доля времени, в течение которого материал начинает промокать, но носчик этого не ощущает (первая стадия), составляет 0,4, поскольку время наступления каждой последующей стадии промокания уже включает время наступления первой стадии. Для второй стадии эта доля (аналог коэффициента весомости) составит 0,3, для третьей – 0,2, а для четвертой – 0,1.

Расчет динамического критерия $K_{вд}(P_T, t_T)$ уровня водозащитной функции проводится по формуле:

$$K_{вд}(P_T, t_T) = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)}{4 \cdot t_m}, \quad (1)$$

где t_1, t_2, t_3, t_4 – время регистрации первой, второй, третьей и четвертой стадий промокания соответственно, мин. При этом время регистрации ненаступивших стадий промокания t_{nn} принимается равным требуемому времени t_T .

Полностью реализованная функция водозащиты материала наблюдается тогда, когда процесс намокания в течение требуемого времени t_T при требуемом давлении P_T не начинается и ни одна из стадий промокания не может быть зарегистрирована. Это возможно, если наблюдения проводятся при давлении, величина которого меньше давления промокания $P_T < P_n$. Для расчета критерия тогда принимается $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_T$, что означает $K_{вд}(P_T, t_T) = 1$.

Если существует некий ориентир или запрос потребителя на конкретное требуемое давление P_T и требуемое время t_T защиты от воды, тогда расчет критерия предлагается проводить в следующей последовательности:

1. Определение требуемого уровня выдерживаемого без промокания гидростатического давления P_T и требуемой длительности t_T выполнения материалом водозащитной функции. Например, для бытовой водозащитной куртки это будет величина гидростатического давления 40 кПа [8] и длительность не менее 60 минут. Указанные величины учитывают усредненные потребности в водозащите и при необходимости могут быть изменены.

2. Определение времени t_1, t_2, t_3, t_4 наступления стадий промокания материала при давлении P_T и расчет динамического критерия $K_{вд}(P_T, t_T)$ уровня водозащитной функции материала по формуле (1).

3. Сравнение рассчитанной величины $K_{вд}(P_T, t_T)$ с традиционной шкалой желательности Харрингтона [9] и принятие решения о целесообразности использования материала по назначению.

Результаты и обсуждения

Апробация разработанного способа оценки водозащитных свойств материалов для одежды как функции, проявляющейся во времени при заданных условиях, проведена для материалов курточного назначения, используемых швейными предприятиями РБ для пошива детской, женской и мужской одежды.

Для проведения испытания были отобраны образцы двухслойных (2L) и трехслойных (3L) мембранных материалов, содержащих текстильный тканый (тк) или трикотажный (тр) слои и полиуретановые мембраны различных типов. Поверхностная плотность образцов составляет от 98 г/м² до 270 г/м². Соединение слоев материалов между собой в рассматриваемых образцах – точечное клеевое способом ламинирования (Л). Более подробно типы структур материалов с мембраной, используемые в производстве одежды, рассмотрены в источнике [10]. Среди исследуемых образцов выделили группы, образцы в которых обладают сходством структуры содержащихся в них мембран, в каждую группу отобрали по 8 артикулов материалов. Краткая характеристика образцов материалов представлена в табл. 3.

Таблица 3

Номер образца / тип	Поверхностная плотность, г/м ²	Тип образца в зависимости от типа полиуретановой мембраны / характеристика структуры мембраны	Толщина слоев (по результатам СЭМ), мм	
			текстильных слоев (суммарно)	мембранного слоя
1 / 2Lтк	143	Л: пг / пористая губчатая анизотропная гидрофильная	0,14	0,088
2 / 2Lтк	145		0,14	0,084
3 / 2Lтк	138		0,12	0,086
4 / 2Lтк	95		0,09	0,056
5 / 2Lтк	92		0,08	0,058
6 / 2Lтк	132		0,15	0,096
7 / 2Lтк	130		0,13	0,055
8 / 2Lтк	217		0,16	0,15
9 / 2Lтр	134	Л: м / монолитная гидрофильная	0,32	0,020
10 / 3Lтр	228		0,55	0,016
11 / 3Lтр	148		0,24	0,014
12 / 2Lтк	100		0,15	0,015
13 / 2Lтр	98		0,24	0,015
14 / 2Lтк	234		0,35	0,020
15 / 3Lтр	270		0,79	0,040
16 / 2Lтк	156		0,29	0,028

17 / 2Лтр	148	Л: гпг / пористая губчатая анизотропная гидрофобная	0,12	0,02
18 / 2Лтк	160		0,13	0,05
19 / 2Лтк	109		0,11	0,07
20 / 2Лтк	142		0,16	0,1
21 / 2Лтк	133		0,16	0,1
22 / 2Лтк	136		0,18	0,08
23 / 2Лтк	133		0,16	0,09
24 / 2Лтк	100		0,11	0,07
25 / 2Лтк	139	Л: мксч / многокомпонентная слоистая: пористая губчатая гидрофобная анизотропная плюс монолитная гидрофильная (*) с модифицированной микрочастицами поверхностью	0,13	0,05 + 0,01*
26 / 2Лтк	140		0,16	0,05 + 0,02*
27 / 2Лтк	137		0,13	0,05 + 0,01*
28 / 2Лтк	136		0,12	0,04 + 0,01*
29 / 2Лтк	137		0,12	0,04 + 0,02*
30 / 2Лтк	132		0,13	0,04 + 0,01*
31 / 2Лтк	141		0,14	0,05 + 0,02*
32 / 2Лтк	138		0,13	0,05 + 0,02*

Для изучения структуры мембраны образцов проводили микроскопию мембранного слоя материалов. Применяли метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и электронный микроскоп VEGA II LSH с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD и программным обеспечением. На рис. 2 показаны микрофотографии поперечных срезов материалов с мембранами различных структур: пористой губчатой анизотропной (рис. 2, а), монолитной (рис. 2, б), многокомпонентной слоистой (рис. 2, в).

Для определения давления P_n промокания использовали разработанный портатив-

ный прибор [7]. При нормальных условиях по ГОСТ 10681-75 на лицевую сторону образца, приведенного в контакт с раствором поваренной соли и зажатого крышкой, подавали гидростатическое давление, повышая его значение дискретно со скоростью 10 кПа в минуту, контролируя по манометру. Используя программное обеспечение мультиметра, подключенного к прибору, наблюдали увеличение напряжения. При регистрации напряжения свыше 0,1 В испытание прекращали, считая значение достигнутого давления давлением промокания.



Рис. 2

Для определения динамического критерия $K_{вд}$ (P_t , t_t) уровня водозащитной функции материалов при аналогичных условиях использовали ту же схему испытания, но величину гидростатического давления устанавливали по манометру сразу 40 кПа, а наблюдение проводили в течение 60 минут, регистрируя последовательно по достижении напряжения 3 В, 6 В, 9 В и 12 В время наступления каждой из четырех стадий

промокания. Расчет критерия $K_{вд}$ (40, 60) проводили по формуле (1), принимая время ненаступивших стадий промокания за 60 мин. Результаты испытаний и расчетов представлены в табл. 4. Графики промокания исследуемых образцов при давлении 40 кПа, сгруппированные по типам мембран, входящих в состав материалов, представлены на рис. 3...6.

Т а б л и ц а 4

Обозначение критерия, единицы измерения	Результаты испытаний образцов с мембранами различных структур								Среднее значение по выборке	Стандартное отклонение
Образцы с пористой губчатой анизотропной гидрофильной мембраной										
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	30	22
P_n , кПа	10	10	10	40	50	50	10	60		
$K_{вд}$ (40, 60), баллы	0,13	0,85	0,88	0,02	0,93	0,02	0,09	0,02		
Образцы с монолитной гидрофильной мембраной									-	
Номер образца	9	10	11	12	13	14	15	16	316	11
P_n , кПа	310	320	310	300	330	330	310	320		
$K_{вд}$ (40, 60), баллы	0,80	0,84	0,85	0,82	0,85	0,81	0,80	0,85		
Образцы с пористой губчатой анизотропной гидрофобной мембраной									-	
Номер образца	17	18	19	20	21	22	23	24	84	28
P_n , кПа	60	100	120	80	100	110	50	50		
$K_{вд}$ (40, 60), баллы	0,76	0,54	0,46	1,00	0,75	1,00	0,61	0,38		
Образцы с многокомпонентной слоистой мембраной с микрочастицами									-	
Номер образца	25	26	27	28	29	30	31	32	129	14
P_n , кПа	140	140	140	110	110	130	120	140		
$K_{вд}$ (40, 60), баллы	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		

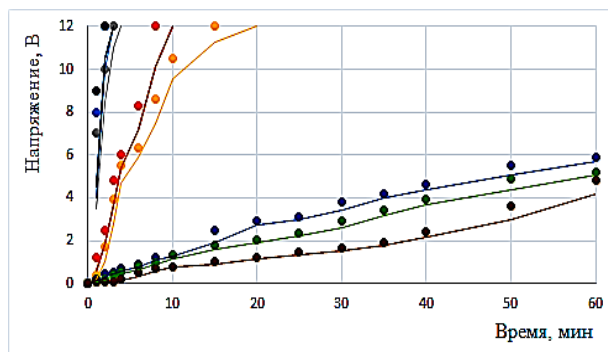


Рис. 3

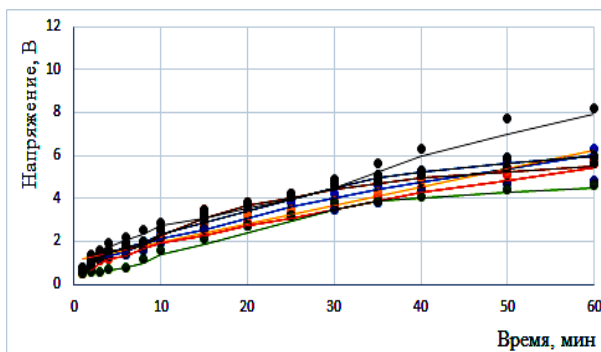


Рис. 4

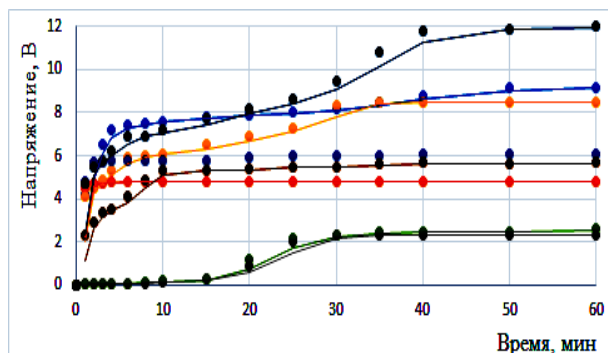


Рис. 5

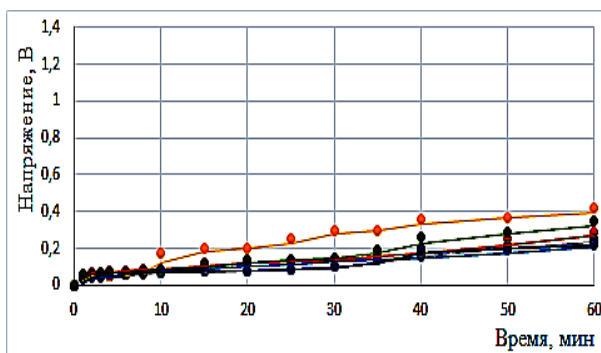


Рис. 6

По графикам промокания заметно, что для некоторых материалов схожей структуры характерна схожая форма аппроксимирующих кривых. Вероятно, возможно использование нового способа для идентификации типа структуры мембраны в составе комплексного материала по графику его промокания. Однако эта гипотеза требует отдельного исследования для проверки.

Анализ результатов исследования показал следующее:

1. Наивысшим уровнем водозащиты в заданных условиях обладают материалы с многокомпонентной слоистой мембраной, поверхность которой модифицирована микрочастицами. По графику промокания этих образцов (рис. 6) видно, что в течение 60 минут у них не наступает даже 1 стадия промокания, при этом максимальное значение напряжения составляет 0,42 В. Среднее значение давления промокания для этих материалов составляет 129 кПа при сравнительно небольшом разбросе значений. В одежде из материалов подобных структур человек будет длительное время ощущать сухость при гидростатическом давлении 40 кПа, которое соответствует воздействию моросящего дождя [11, 12].

2. Высоким уровнем водозащиты с оценкой согласно функции желательности Харрингтона «очень хорошо» обладают образцы материалов с монолитной гидрофильной мембраной. Среднее значение давления промокания для этих материалов составляет 316 кПа при малом разбросе значений. Однако по графику промокания этих образцов (рис. 4) видно, что при гидростатическом давлении 40 кПа (в 8 раз меньше среднего давления промокания!) в течение 60 минут у них наступает первая, а иногда и вторая стадии промокания. Это означает, что в одежде из материалов подобной структуры под действием атмосферных осадков человек через некоторое время (около получаса) будет ощущать охлаждение мембранной стороны материала, что является признаком определенного дискомфорта. Поэтому в одежде из материалов с гидрофильной мембраной рекомендуется применение подкладки, препятствующей контакту материала верха с открытыми частями кожи человека.

3. Различным уровнем водозащиты обладают образцы материалов с пористой губчатой анизотропной мембраной. Динамический критерий $K_{вд}$ (40, 60) уровня водозащитной функции материалов с гидрофобной пористой мембраной неравномерен по выборке и составляет от 0,38 до 1,00, что в соответствии с функцией желательности интерпретируется от оценки «плохо» до «очень хорошо». По графику промокания этих образцов (рис. 5) видно, что в течение 60 минут у них могут быть зарегистрированы все стадии промокания, что, вероятнее всего, зависит от распределения пор мембранного слоя по размеру. Разброс значений относительно среднего значения давления промокания 84 кПа составляет 28 кПа (свыше 30 % от среднего). Для материалов с гидрофильной пористой мембраной значения критерия $K_{вд}$ (40, 60) еще более неравномерны и составляют от 0,02 до 0,93. При этом на графиках промокания (рис. 3) выделяются две подгруппы образцов с характерной кривой промокания. Образцы №1, №2, №3, №7, давление промокания которых значительно ниже 40 кПа, промокают очень быстро, в течение нескольких минут. Образцы № 4, №5, №6 и №8 не достигают третьей и четвертой стадии промокания за 60 минут, промокают медленно, постепенно насыщаясь водой. Таким образом, невозможно однозначно обобщить оценку способности материалов с мембранами пористой структуры защищать человека от воздействия воды. Принятие решения относительно применимости материалов с пористой губчатой анизотропной гидрофобной или гидрофильной мембраной для изготовления одежды в каждом конкретном случае должно быть обосновано величиной динамического критерия $K_{вд}$ (P_T , t_T) уровня водозащитной функции, рассчитанного по результатам испытаний по предложенной методике в заданных условиях.

Заключение

Разработанный способ позволяет точно определить момент сквозного проникновения воды через материал, изучить процесс промокания, регистрируя время наступления четырех различных стадий насыщения материала влагой, в том числе до того, как она

пройдет насквозь и будет ощущаться тактильно, что дает возможность выявлять особенности промокания материалов различных структур и оценивать водозащитные свойства материала при длительном воздействии воды для научно обоснованного выбора материалов для одежды.

Разработанные новые критерии позволяют проводить сравнительную оценку водозащитных свойств материалов и оценку соответствия материалов для одежды заданным требованиям. Использование разработанных критериев предоставляет более полную информацию о водозащитной функции материалов, позволяет градировать степень намокания материала по тактильным ощущениям и привесу влаги, дает исследователям известную маневренность в выборе способа расчета критерия оценки в зависимости от цели эксперимента.

Большим преимуществом разработанных критериев является способ их определения с помощью нового прибора. Конструкция прибора позволяет проводить испытание без изменения или разрушения структуры образца в процессе испытания и моделировать условия, более близкие к эксплуатационным, чем при испытании стандартными средствами. В совокупности это повышает уровень информативности критериев для оптимизации процесса выбора материалов для водозащитной одежды, поскольку и прибор, и методика, и критерии направлены на оценку уровня дискомфорта носчика, связанного с прониканием воды через одежду в течение всего времени носки, что соответствует физическому смыслу водозащитной функции материалов для одежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панкевич Д.К., Буркин А.Н., Ивашко Е.И. Анализ нормативной и приборной базы определения водопроницаемости композиционных слоистых текстильных материалов, содержащих мембранный слой // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 6 (58). С. 305...314.
2. Пат. 2308721 РФ, МПК G01N15/08. Способ определения водопроницаемости материалов для швейных изделий и устройство для его осуществления.

3. Метелева О.В., Бондаренко Л.И. Исследование промокания опорной поверхности рабочей куртки при испытании дождеванием // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2023. № 46. С. 51...60. – DOI:10.24412/2079-7958-2023-3-51-60.

4. Шайхлисламов К.М. Применение метода электрогидродинамической аналогии в системе энергоэффективного управления эксплуатацией нефтяных месторождений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17, № 4. С. 107...113.

5. Compton R.G., Kätelhön E., Ward K.R., Laborada E. Understanding Voltammetry. Simulation of Electrode Processes, 2nd Edition. World Scientific, 2020. 324 p.

6. Павлова З.Ш., Пьяных О.П., Голодников И.И. Биоимпедансный анализ. Клинические примеры и интерпретация измерений состава тела человека при воздействии различных факторов // Эндокринология: Новости. Мнения. Обучение. 2020. №4 (33). С. 74...81.

7. Пат. 12855 РБ, МПК G01N3/20. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления.

8. Williams J.T. Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.

9. Попельницкая И.М., Хромова М.Г., Попельницкий Е.В. и др. Многокритериальный подход к оценке качества жизни населения территорий Красноярского края на основе обобщенной функции желательности // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2023. №16 (9).

10. Панкевич Д.К. Классификация и способ идентификации многофункциональных текстильных материалов для водозащитной одежды // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2024. Т. 66. № 2. С. 100...106.

11. Smith W.C. Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010. 320 p.

12. Метелева О.В., Таишев В.В., Никифорова Е.Н. Изменение водонепроницаемости одежды под воздействием динамических деформаций // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6(360). С.133...138.

REFERENCES

1. Pankevich D.K., Burkin A.N., Ivashko E.I. Analysis of the normative and instrumental base for determining the water permeability of composite layered textile materials containing a membrane layer // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2020. № 6 (58). P. 305...314.
2. Patent № 2308721 RF, IPC G01N15/08. Method for determining the water permeability of materials for garments and a device for its realization.

3. *Metleva O.V., Bondarenko L.I.* Characteristics of the sewing product blotting process when exposed to sprinkling irrigation // Bulletin of Vitebsk State Technological University. 2023. № 46. P. 51...60. – DOI: 10.24412/2079-7958-2023-3-51-60.
 4. *Shaykhislamov K.M.* Application of electrohydrodynamic analogy method in the system of energy-efficient management of oil fields operation // Bulletin of South Ural State University. Series: Energy. 2017. V. 17, № 4. P. 107...113.
 5. *Compton R.G., Kätelhön E., Ward K.R., Laborda E.* Understanding Voltammetry. Simulation of Electrode Processes, 2nd Edition. World Scientific, 2020. 324 p.
 6. *Pavlova, Z.Sh., P'yanykh, O.P., Golodnikov, I.I.* Bioimpedance analysis. Clinical examples and interpretation of human body composition measurements under the influence of various factors // Endocrinology: News. Opinions. Training. 2020. № 4 (33). P. 74...81.
 7. Patent RB 12855, IPC G01N3/20. Tester for determining the waterproofing properties of materials by hydrostatic pressure.
 8. *Williams, J.T.* Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing. Elsevier: Woodhead Publishing Ltd, 2018. 590 p.
 9. *Popel'nitskaia I.M., Khromova M.G., Popel'nitskii E.V. etc.* Multicriteria Approach to Assessing Quality of Life Population the Krasnoyarsk Region on Basis of Generalized Desirability Function // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2023. №16 (9).
 10. *Pankevich D.K.* Classification and method of identification of multifunctional textile materials for waterproof clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Legkoi Promyshlennosti. 2024. V.66 № 2. P. 100...106.
 11. *Smith W.C.* Smart Textile Coatings and Laminates. Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 2010. 320 p.
 12. *Metleva O.V., Tashev, V.V., Nikiforova, E.N.* The change of cloth waterproofness under the influence of dynamic deformations // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. №6(360). P. 133...138.
- Рекомендована организационным комитетом международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)".
Поступила 05.02.25.
-