

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕМБРАНОЙ  
STUDY OF WATER VAPOR PERMEABILITY OF MEMBRANE  
COMPLEX TEXTILE MATERIALS**

**Панкевич Д.К.  
Pankevich D.K.**

*Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь  
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus, Vitebsk*

*(e-mail: dashapan@mail.ru)*

**Аннотация.** Исследована водопаропроницаемость комплексных текстильных материалов с мембраной при различных условиях опыта. Выявлено, что условия испытаний по-разному влияют на способность водонепроницаемых комплексных текстильных материалов с мембраной пропускать пары воды. Предложен новый критерий оценки водопаропроницаемости с учетом ее изменения при различных условиях проведения испытаний.

**Abstract.** The water vapor permeability of complex textile materials with a membrane under different test conditions was investigated. It has been revealed that the test conditions have different influence on the ability of waterproof complex textile materials with a membrane to pass water vapor. A new criterion for evaluation of water vapor permeability has been proposed, taking into account its change under different test conditions.

**Ключевые слова:** одежда, водопаропроницаемость, комплексный материал, мембрана, условия испытаний, критерий.

**Keywords:** clothing, water vapor permeability, complex material, membrane, test conditions, criterion.

Одежда играет большую роль в процессах теплообмена организма с окружающей средой. Она обеспечивает такой микроклимат, который в различных условиях окружающей среды позволяет организму оставаться в оптимальном тепловом режиме. Микроклимат пододежного пространства является основным параметром при выборе костюма, поскольку определяет самочувствие человека.

Водонепроницаемые комплексные текстильные материалы (КТМ), содержащие полимерный мембранный слой, обладают способностью пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень защиты от воды. Показатель их водопаропроницаемости нормируется наряду с показателями водонепроницаемости, поскольку он определяет уровень комфортности одежды из КТМ.

Водопаропроницаемость (water vapour permeability, WVP) – величина, определяемая как способность пропускать водяной пар выше нормативного уровня, сохраняя при этом высокую степень водонепроницаемости [1]. Определяется WVP гравиметрическим методом как отношение убыли массы воды, испарившейся за определенное время в контролируемых условиях

через образец, к площади этого образца. Измеряют показатель WVP в г/м<sup>2</sup>/24 ч.

Количество пара, проходящего через КТМ различными путями в условиях относительно спокойного воздуха, зависит от пористости и сорбционной способности материала, обусловленных химической природой волокон текстильного слоя, гигроскопическими свойствами и структурными характеристиками мембранного слоя [2]. С увеличением физической активности (повышение температуры и влажности пододежного пространства) водопаропроницаемость материала повышается вследствие увеличения градиента парциальных давлений  $\Delta P$  водяного пара. Следовательно, для оценки способности материала поддерживать комфортные условия в пространстве под одеждой при различных значениях градиента  $\Delta P$  необходимо понять, как изменяется поток пара при изменении градиента движущей силы массопереноса.

Статья посвящена исследованию водопаропроницаемости комплексных текстильных материалов с мембраной при различных условиях опыта для оценки их значимости при принятии решения о способности материалов транспортировать пары воды в изменяющихся условиях эксплуатации.

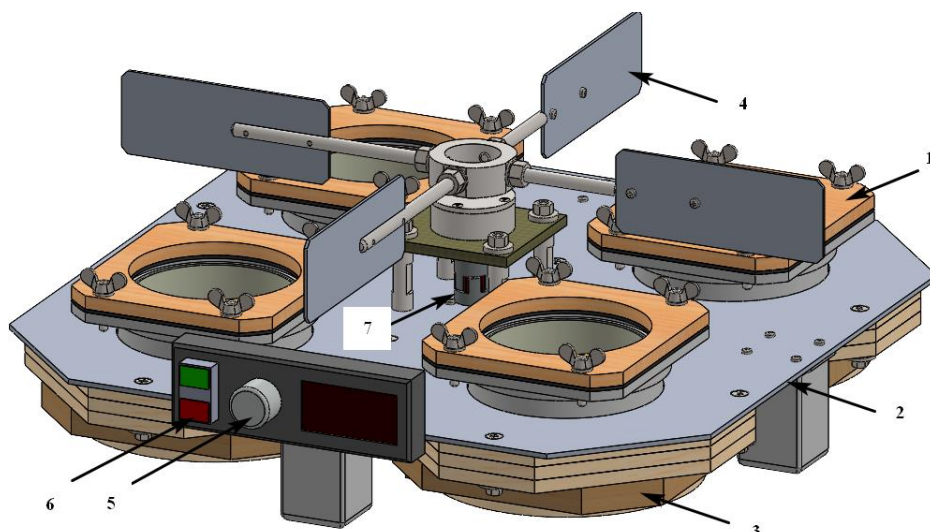
В качестве объектов исследования выбраны водонепроницаемые двух- и трехслойные КТМ, содержащие полиэфирные текстильные слои и полиуретановый мембранный слой различных структур. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Структура			
		текстильного тканого (трикотажного) слоя		полимерного слоя	
		толщина, лицо / изнанка, мм	переплетение нитей текстильного слоя, лицо / изнанка	толщина, мм	пористого / монолитного
1	133	0,16 / -	полотняное	0,10	нет
2	274	(0,24) / (0,38)	одинарн. поперечносоед. / двуластичное	0,03	нет
3	328	(0,30) / (0,72)	кулирная гладь / сочет. поперечносоед. и плюшевого	0,03	нет
4	309	0,22 / (0,72)	полотняное / сочет. поперечносоед. и плюшевого	нет	0,03
5	139	0,13 / -	комбинированное	0,05	0,01
6	155	(0,19) / (0,12)	ластик 1+1/ гладкое платированное	нет	0,015
7	98	(0,24) / -	ластик 1+1	нет	0,015
8	134	(0,32) / -	двуластичное	нет	0,015

Для исследования показателя водопаропроницаемости коллективом авторов УО «ВГТУ», г. Витебск, Республика Беларусь, разработано новое устройство с возможностью проведения испытаний при различных

температурах источника испарения воды для моделирования потоотделения человека [3]. Схема устройства представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема устройства для исследования водопаропроницаемости материалов легкой промышленности: 1 – чашка, 2 – столик, 3 – электроконфорка, 4 – лопатка крыльчатки, 5 – регулятор нагрева электроконфорок, 6 – кнопки установки режима обдува, 7 – муфта**

Устройство используют следующим образом. Комплектуют испытательные чаши. Для этого устанавливают металлическую банку в теплоизолирующий корпус без дна. Банку наполняют водой в объеме, обеспечивающем установленное методикой испытания расстояние до внутренней поверхности вырезанного по форме квадрата образца, сверху устанавливают на шпильки силиконовую герметизирующую прокладку, на нее укладывают образец изнаночной стороной к воде и закрывают крышкой, устанавливая ее на шпильки и закручивая последовательно четыре гайки. В гнезда столика на электроконфорки помещают собранные испытательные чаши с водой и образцами. Задают в соответствии с указаниями методики испытания условия в испытательной камере, температуру нагрева электроконфорок, скорость вращения привода и положение лопаток крыльчатки. При подключении устройства к сети привод передает вращение посредством муфты на ось, на которой закреплена крыльчатка. Лопатки крыльчатки, вращаясь, создают необходимый поток воздуха над образцами, а электроконфорки нагреваются до установленной температуры, нагревая воду в стандартных металлических банках.

Условия проведения испытания поддерживали с помощью климатической камеры УТН-408-40-1Р («Tuantaо», Китай), в которую устанавливали устройство для определения водопаропроницаемости. Взвешивание чашек с водой и образцами до и после двухчасового периода размещения в контролируемых условиях проводили на аналитических электронных весах РА 214 С («ОНАUS Corporation», США), класс точности I. От каждого из 8 образцов КТМ отбирали по 3 элементарные пробы.

Коэффициент абсолютной водопаропроницаемости (WVP), г/м<sup>2</sup>/24 ч рассчитывали по формуле, представленной в источнике [1].

В исследованиях на определение водопаропроницаемости использовали две комбинации условий испытаний (Тн и Тв – температура воздуха снаружи и внутри чашки; Wн и Wв– влажность воздуха снаружи и внутри чашки соответственно; ΔР – разность парциальных давлений водяного пара).

Комбинация (а) с подогревом воды в испытательных чашах до 37±2 °С и с обдувом наружной поверхности образцов со скоростью 0,6 м/с (Тн=23 °С, Wн=65%, Тв=37 °С, Wв=100%, ΔР = 4644 Па).

Комбинация (б) без обдува и подогрева (Тн=Тв=23 °С, Wн=65%, Wв=100%, ΔР = 1124 Па).

По окончании испытаний рассчитывали разность показателей водопаропроницаемости, определенных при различных условиях, для получения информации о том, насколько данный образец КТМ изменяет скорость транспортирования пара в зависимости от изменяющихся условий эксплуатации. Чем больше эта разность и чем выше уровень водопаропроницаемости образца при меньшем значении ΔР (комбинация условий (б)), тем лучше образец транспортирует пары воды через свою структуру.

Таблица 2 – Результаты испытаний

Номер образца	Коэффициент водопаропроницаемости, г /м <sup>2</sup> /24ч, при комбинации условий		Разность показателей водопаропроницаемости, определенных при различных условиях, г /м <sup>2</sup> /24ч, ΔWVP = WVP(а) -WVP(б)
	а	б	
1	4379	719	3660
2	5557	757	4800
3	4272	604	3668
4	2283	442	1841
5	3845	634	3211
6	4352	563	3789
7	4357	557	3800
8	2784	528	2256

Анализ полученных данных показывает, что в зависимости от комбинации условий испытания КТМ демонстрируют различную способность транспортировать пары воды из пространства под одеждой наружу. Так, ряд материалов, ранжированный по возрастанию показателя водопаропроницаемости при комбинации условий (а) записывается как 4 8 5 3 6 7 1 2, а при комбинации условий (б) как 4 8 7 6 3 5 1 2. Образцы №1 и №2 являются лидерами по паропроницаемости в обоих случаях, как и образцы №4 и №8 – «аутсайдерами» в обоих случаях. Остальные образцы изменяют свой ранг. Так, образец №7 лучше проводит парообразную влагу при подогреве воды, причем настолько, что при увеличении градиента давлений поднимается с шестого места на третье. Образцы №6 и №3 близки по значениям показателя водопаропроницаемости и делят попеременно 4 и 5 место в ранжированных

рядах (а) и (б). Образец №5 с третьего места спустился на шестое, поскольку у него разность показателей водопаропроницаемости, определенных при различных условиях, относительно невелика.

Анализ структуры образцов (таблица 1) показывает, что наивысшими значениями паропроницаемости обладают материалы с пористой структурой полимерного мембранного слоя (№1, №2, №3). Они же характеризуются наибольшей разницей показателей водопаропроницаемости  $\Delta WVP$ . То есть способны при увеличении разности парциальных давлений (например, когда человек вспотел или когда на улице потеплело) быстро увеличивать поток пропускаемого пара, а следовательно, обеспечивают более комфортные условия микроклимата пододежного пространства. Образец №5 является особенным – он содержит в структуре мембраны и монолитный, и микропористый слои и обладает средним значением  $\Delta WVP$ . Самая низкая способность изменения показателя водопаропроницаемости у образцов №4 и №8. Они же обладают наибольшей толщиной в группе образцов с монолитной мембраной.

В результате проведенных испытаний выявлено, что условия испытаний влияют на способность водонепроницаемых комплексных текстильных материалов с мембраной пропускать пары воды, причем это влияние неоднозначно и является индивидуальной характеристикой КТМ определенной структуры. При этом, если иметь возможность измерить поток при двух предельных градиентах парциальных давлений пара (минимальном и максимальном), одинаковых для ряда исследуемых материалов, можно сравнить эти материалы между собой по показателю изменения плотности потока водяного пара при изменении разности парциальных давлений на 1 Па. Чем больше эта величина, тем менее информативен показатель водопаропроницаемости, определенный при конкретном значении градиента парциальных давлений, однако, зная ее и значение водопаропроницаемости при конкретном градиенте парциальных давлений, можно вычислить значение паропроницаемости при любом градиенте. Это поможет понять, какой диапазон градиента парциальных давлений пара будет обеспечен адекватным для сохранения комфорта потоком выводимых из пространства под одеждой наружу паров воды.

#### *Список использованной литературы*

1. ГОСТ Р 57514-2017 (ИСО 8096:2005). Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия. – Введ. 2018-04-01.
2. Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов: монография / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич / под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 190 с.
3. Устройство для контроля паропроницаемости материалов: полезная модель ВУ 13087: МПК G 01N 15/00 (2006.01); заявители и патентообладатели: Буркин Александр Николаевич; Панкевич Дарья Константиновна; Борозна Вилия Дмитриевна, Ивашко Екатерина Игоревна, Терентьев Анатолий Алексеевич (ВУ)– № u 20220111; заявл. 16.05.2022; опубл. 30.12.2022; Бюл. №6.

© Панкевич Д.К., 2023