

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ, БЛИЗКИХ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ**VAPOR PERMEABILITY OF MEMBRANE TEXTILE MATERIALS UNDER NEAR-OPERATIONAL CONDITIONS**

УДК 677.017.636

Е.И. Ивашко*, Д.К. Панкевич*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-47-52>**K. Ivashko*, D. Pankevich***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ**

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Объектом исследования являются мембранные текстильные материалы, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента.

Предметом исследования является уровень водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов.

Цель работы – определение влияния температуры и скорости наружного воздуха на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов различной структуры.

В процессе работы выполнен анализ условий проведения испытаний паропроницаемости материалов по стандартным методикам, показано, что в них отсутствует возможность моделирования условий эксплуатации.

Результат работы – выявлена зависимость паропроницаемости мембранных материалов различной структуры от температуры и от скорости движения наружного воздуха. Показано, что на величину паропроницаемости пористых мембранных материалов влияет разброс размеров пор и размер большинства пор.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

ABSTRACT

VAPOR PERMEABILITY, OPERATIONAL CONDITIONS, TEMPERATURE, OUTDOOR AIR VELOCITY

The article considers requirements to vapor permeability of membrane materials for waterproof clothing. Operational conditions of waterproof clothes are analyzed; the significance of test conditions for interpretation of research results and revealing factors that have a significant influence on the ability of membrane materials to transport water vapor from the space under the clothes to the outside, while maintaining a high level of water permeability is underlined. The analysis of conditions for tests of vapor permeability of materials by standard methods is performed, it is shown that they lack the ability to simulate operational conditions. The dependence of the vapor permeability of membrane materials with different structures on the temperature and on the velocity of outdoor air was revealed. It is shown that the value of vapor permeability of porous membrane materials is influenced by the variation of pore sizes and the size of the majority of pores, i.e., the greater these two values are, the higher the level of vapor permeability of the membrane porous material is. The values of the vapor permeability coefficient of materials used by sewing enterprises of Belarus for manufacturing waterproof outerwear for autumn-spring assortment have been determined. According to the experimental data, all the samples under study have a vapor permeability above the minimum allowable standard.

* E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru (K. Ivashko)

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

В результате анализа требований к значению коэффициента паропрооницаемости водонепроницаемых материалов отмечено, что согласно ГОСТ Р 57514-2017 минимально допустимое его значение для материалов, используемых в одежде при высокой физической активности носчика, составляет $360 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [1], компании-продавцы одежды из водонепроницаемых материалов предлагают ориентироваться на уровень не ниже $20\,000 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [2], а научные исследования показывают, что потоотделение человека при таком уровне физической активности составляет порядка $40\,000 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [3]. Такой разброс рекомендуемых значений обусловлен различиями в методиках и средствах определения коэффициента паропрооницаемости, что приводит к получению существенно разных результатов для одного и того же образца материала. Поэтому интерпретация результатов испытаний зависит от используемой методики.

Согласно требованиям стандартных методик к условиям проведения испытаний по определению паропрооницаемости [1,4–8] температура воздуха снаружи испытательной конструкции изменяется в диапазоне свыше $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Реальный диапазон условий носки водонепроницаемой одежды значительно шире: он начинается при более низких температурах, а при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше в водонепроницаемую одежду одеваются только узкоспециализированные группы носчиков. В основном, для бытовой и спортивной одежды характерными условиями носки являются параметры приземного макроклимата осенне-весеннего и зимнего периодов года. Для территории

Республики Беларусь среднесезонные температуры в эти периоды составляют от $(-3) \text{ }^\circ\text{C}$ до $(+8) \text{ }^\circ\text{C}$ [9]. По данным литературных источников погодные условия по убыванию влияния на паропрооницаемость одежды располагаются в следующем ряду: температура, ветер, влажность наружного воздуха [3].

Проникновение пара через материал обусловлено процессами диффузии вследствие разности давлений пара в атмосферной среде и пододежном пространстве и сорбции-десорбции, а также конвективными и другими процессами, вызывающими движение воздуха у поверхности материала [10]. В своих работах Б.Б. Койранский, Ю.В. Вадковская, В.И. Кузьмина [11, 12] подчёркивают влияние температуры и скорости движения наружного воздуха на паропрооницаемость материала. Указанные выводы справедливы для материалов иной конструкции, нежели мембранные водонепроницаемые материалы, поэтому имеет смысл экспериментальная проверка гипотезы о том, что паропрооницаемость мембранных водонепроницаемых материалов существенно зависит от температуры и скорости движения наружного воздуха.

Анализ условий проведения испытаний стандартных методик [1,4–8] представлен в таблице 1.

Ни одна из рассматриваемых методик (таблица 1) не обеспечивает близких к эксплуатационным условиям проведения испытаний. Для устранения этого пробела авторами статьи был проведен эксперимент по определению паропрооницаемости гравиметрическим методом при создании определенных климатических условий и моделировании потоотделения человека. В ходе эксперимента на образцы оказывалось воздействие температуры наружного воздуха в диапазоне среднесезонных температур осенне-весеннего и зимнего периодов года и воздействие потока воздуха над образцами (обдува) в диапазоне скоростей от 0 до $0,6 \text{ м/с}$.

Эксперимент позволяет определить паропрооницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным, и оценить влияние регулируемых параметров на величину паропрооницаемости.

Целью данной работы является определение влияния температуры и скорости наружного воз-

Таблица 1 – Анализ условий проведения испытаний по определению паропроницаемости

Наименование ТНПА	Условия проведения испытания		
	Температура воздуха снаружи, °С	Температура нагрева воды, °С	Скорость движения наружного воздуха, м/с
ГОСТ Р 57514-2017	20±2	-	не более 0,1
ГОСТ 938.17-70	20±3	-	-
ГОСТ 30568-98	20±2	32±1	-
ГОСТ 22900-78	28±1	-	-
	20±2	32±1	-
ГОСТ 21472-81	25±0,5	-	-
	38±0,5	-	-
	20±1,0	-	-
ГОСТ 29060-91 (ИСО 6179-89)	23±2	-	-
	27±2	-	-

духа на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов различной структуры.

Для реализации поставленной цели были исследованы образцы мембранных текстильных материалов, применяемых для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Текстильные слои всех исследуемых образцов – ткани различных переплетений, выработанные из мультифиламентных химических нитей. Мембранный слой у всех объектов исследования выполнен из полиэфируретана

с различными добавками. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 2. Данные о размере и количестве пор были получены методом порометрии на приборе POROLUX™100.

Диапазон и интервалы варьирования управляемых факторов определяли исходя из данных [13] и технических возможностей устройства. Управляемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 3. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 4.

Таблица 2 – Характеристика исследуемых образцов

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм		Размер пор, мкм		Размер большинства пор, мкм
		общая	мембраны	max	min	
1	128	0,26	0,14	11,21	2,50	2,10
2	172	0,24	0,02	0,87	0,08	0,10
3	160	0,22	0,10	1,09	0,49	1,09
4	139	0,20	0,10	1,22	0,1	0,75

Таблица 3 – Управляемые факторы и уровни их варьирования

Обозначение и наименование факторов	Уровни варьирования			Интервал
<i>T</i> – температура наружного воздуха, °С	4	10	16	6 °С
<i>V</i> – скорость движения наружного воздуха, м/с	0	0,3	0,6	0,3 м/с

Таблица 4 – Матрица планирования эксперимента

№ п/п	<i>T</i> Температура воздуха, °С	<i>V</i> Скорость движения наружного воздуха, м/с	<i>VP₁</i> Паропроницаемость образца № 1, г/м ² /24 ч	<i>VP₂</i> Паропроницаемость образца № 2, г/м ² /24 ч	<i>VP₃</i> Паропроницаемость образца № 3, г/м ² /24 ч	<i>VP₄</i> Паропроницаемость образца № 4, г/м ² /24 ч
1	16	0,6	6216	1440	7453	2287
2	16	0,3	6108	1321	7165	2287
3	16	0	5861	1592	7453	2439
4	10	0,6	4760	1135	7250	1745
5	10	0,3	3964	1205	7131	1423
6	10	0	4946	1338	7063	1626
7	4	0,6	3134	914	5979	1169
8	4	0,3	4235	1050	6029	1253
9	4	0	4251	830	6335	1220

Далее с помощью пакета прикладных программ «Statistica for Windows» были найдены оценки коэффициентов регрессии. Уравнения регрессии для исследуемых образцов имеют вид (1–4).

$$VP_1 = 3006,94 + 182,36 \cdot T; (R^2=0,77) \quad (1)$$

$$VP_2 = 769,72 + 43,31 \cdot T; (R^2=0,80) \quad (2)$$

$$VP_3 = 5837,56 + 103,56 \cdot T; (R^2=0,80) \quad (3)$$

$$VP_4 = 780,17 + 93,64 \cdot T; (R^2=0,92) \quad (4)$$

Оценка качества моделей показала, что коэффициенты регрессионных уравнений значимы. Значения коэффициентов детерминации подтверждают, что модели являются статистически значимыми.

Самые высокие значения паропроницаемости наблюдались у образцов № 1 и № 3, самые

низкие – у образца № 2. Значение паропроницаемости у всех образцов увеличивалось при увеличении температуры воздуха, как при максимальной скорости движения наружного воздуха, так и при полном отсутствии движения воздуха. Уравнения регрессии имеют вид прямой, следовательно, имеем линейную зависимость паропроницаемости от температуры.

Если анализировать данные о поровой структуре образцов (таблица 2), то заметно, что наивысшими значениями паропроницаемости обладают образцы, характеризующиеся наибольшим разбросом размеров пор (*max / min*) в сочетании с наибольшим размером большинства пор.

Для накопления исследовательских знаний в вопросе влияния различных факторов на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов целесообразно провести полный факторный эксперимент по предложенной методике с более широким интервалом варьирования скорости движения наружного воздуха, поскольку в исследуемом диапазоне изменения скорости движения наружного воздуха его влияние оказалось незначимым.

Анализируя полученные регрессионные модели, можно сделать заключение о том, что изменение скорости движения наружного воздуха в рассматриваемом диапазоне оказывает незначительное влияние на уровень паропроницаемости. Основным фактором, влияющим на паропроницаемость мембранных текстильных

материалов, является температура воздуха.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-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).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 57514-2017. *Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия*, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
2. Разумно о мембранах [Электронный ресурс], режим доступа: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html>, дата доступа: 30.08.2022.
3. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. ГОСТ 938.17-70. *Кожа. Метод определения паропроницаемости*, введ. 01.07.1971, (1970), Москва, Госстандарт, 3 с.
5. ГОСТ 30568-98. *Полотна и изделия трикотажные. Метод определения паропроницаемости и влагопоглощения*, введ. 01.01.1999, (1998), Москва, МГС, 10 с.
6. ГОСТ 22900-78. *Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения*, введ. 01.01.1979, (1978), Москва, Издательство стандартов, 14 с.
7. ГОСТ 21472-81. *Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости*, введ. 01.08.1981, (2008), Москва, Стандартинформ, 7 с.

REFERENCES

1. GOST R 57514-2017. *Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions*, introduced. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24 p.
2. Reasonably about membranes [Razumno o membranah], available at: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html> (access date: 30.08.2022).
3. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. GOST 938.17-70. *Leather. Method for determination of vapour permeability*, introduced. 01.07.1971, (1970), Moscow, Gosstandart, 3 p.
5. GOST 30568-98. *Fabrics and knitted goods. Method for determination of vapour permeability and moisture absorption*, introduced. 01.01.1999, (1998), Moscow, MSU, 10 p.
6. GOST 22900-78. *Artificial leather and film materials. Methods of determination of vapour permeability and moisture absorption*, 01.01.1979, (1978), Moscow, Publishing house of standards, 14 p.
7. GOST 21472-81. *Sheet materials. Gravimetric method for determination of vapor permeability*, introduced. 01.08.1981, (2008), Moscow, Standardinform, 7 p.

8. ГОСТ 29060-91 (ИСО 6179-89). *Ткани с резиновым покрытием. Определение паропрооницаемости летучих жидкостей (гравиметрический метод)*, введ. 01.01.2001, (2004), Москва, Издательство стандартов, 5 с.
9. Болотко, Л. М., Людчик, А. М., Умрейко, С. Д. (2021), Динамические климатические нормы метеопараметров для г. Минска, *Природные ресурсы*, 2021, № 1, С. 5–14.
10. Курмашева, Д. М. (2015), *Адсорбция и процессы переноса молекул воды в пористых и мелкодисперсных средах : дис. ... канд. физ.-мат. наук*, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, 112 с.
11. Полиевский, С. А. (1987), *Гигиена спортивной одежды и снаряжения*, Москва, Физкультура и спорт, 111 с.
12. Лаптев, А. П., Полиевский, С. А. (1990), *Гигиена: учебник*, Москва, Физкультура и спорт, 267 с.
13. Даргевич, В. И. (2013), Климатические особенности регионов Республики Беларусь, *Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса»*, Минск, БНТУ, Т. 1, С. 17–20.
8. GOST 29060-91 (ISO 6179-89). *Rubber-coated fabrics. Determination of vapour permeability of volatile liquids (gravimetric method)*, introduced. 01.01.2001, (2004), Moscow, Publishing house of standards, 5 p.
9. Bolotko, L. M., Ludchik, A. M., Umreiko, S. D. (2021), Dynamic climatic norms of meteoroparameters for Minsk [Dinamichnye klimaticheskie normy meteoroparametrov dlya g. Minska], *Prirodnye resursy – Natural Resources*, 2021, No. 1, pp. 5–14.
10. Kurmasheva, D. M. (2015), *Adsorbciya i processy perenosa molekuly vody v poristykh i melkodispersnykh sredah : dis. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Adsorption and transport processes of water molecules in porous and fine-dispersed media : Ph. Ph.D. in Physics and Mathematics], Prokhorov Institute of General Physics. A.M. Prokhorov Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 112 p.
11. Polievsky, S. A. (1987), *Gigiena sportivnoj odezhdy i snaryazheniya* [Hygiene of sportswear and equipment], Moscow, Fizkultura i sport, 111 p.
12. Laptev, A. P., Polievsky, S. A. (1990), *Gigiena: uchebnyk* [Hygiene: textbook], Moscow, Physical Education and Sport, 267 p.
13. Dargevich, V. I. (2013), Climatic features of the regions of the Republic of Belarus [Klimaticheskie osobennosti regionov Respubliki Belarus'], *Collection of reports of the Republican scientific and technical conference of graduate students, undergraduates and students "Innovations in machinery and technology of the road transport complex"*, Minsk, BNTU, Vol. 1, pp. 17–20.

Статья поступила в редакцию 21. 09. 2022 г.