

ОЦЕНКА ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

Панкевич Дарья Константиновна, к.т.н., доцент

Кафедра конструирования и технологии одежды и обуви учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет»

Иванова Юлия Сергеевна, студент, e-mail: dashapan@mail.ru

Кафедра конструирования и технологии одежды и обуви учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет»

Аннотация: Способность материалов пропускать через свою структуру пары воды является одним из важнейших свойств текстильных материалов, предназначенных для изготовления одежды. Оценка этого свойства показателем коэффициента водопаропроницаемости имеет специфику интерпретации значений по результатам испытаний в стандартных условиях. Статья посвящена разработке нового критерия оценки водопаропроницаемости, учитывающего условия эксплуатации одежды.

Ключевые слова: одежда, оценка, критерий, парциальное давление, теплоощущение, влагопотери.

Evaluation of water vapor permeability of textile materials for garments

**Darya K. Pankevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Julia S. Ivanova,
student, e-mail: dashapan@mail.ru**

Department of Designing and Technology of Clothing and Footwear of the educational institution
“Vitebsk State Technological University”

Abstract: The ability of materials to pass water vapor through their structure is one of the most important properties of textile materials intended for clothing manufacture. Assessment of this property by the water vapor permeability coefficient has a specific interpretation of values based on the results of tests in standard conditions. The article is devoted to the development of a new criterion for assessing water vapor permeability, taking into account the operating conditions of clothing.

Keywords: clothing, assessment, criterion, partial pressure, heat perception, moisture loss.

Водопаропроницаемость существенно влияет на способность материалов для одежды обеспечивать комфорт человека. Традиционно это свойство оценивается коэффициентом водопаропроницаемости, WVP, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч})$, измеренным гравиметрическим методом. Производители материалов для одежды

используют различные методики определения показателя и чаще всего представляют потребителю информацию о наилучшем результате тестирования, который достигается при наибольшем значении разности парциальных давлений водяного пара, ΔP , по обе стороны от тестируемого образца.

Анализ стандартных методик определения водопаропроницаемости, реализующих гравиметрический метод, показал, что все они не приспособлены для исследования паропроницаемости как функции, поскольку позволяют определить лишь значение показателя при сочетании заданных условий: температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, расстояния между моделью «тела» и внутренней поверхностью образца. Разность парциальных давлений водяного пара по обе стороны от тестируемого образца для различных методик составляет от 818 Па до 6638 Па [1]. В источнике [2, с. 112] показано, что значение коэффициента водопаропроницаемости материалов существенно зависит от этой разности и изменяется при ее увеличении по различным законам для материалов разных структур.

Например, для материалов, содержащих гидрофобную пористую сетчатую мембрану, в исследуемом диапазоне ΔP значение коэффициента водопаропроницаемости может увеличиться в 30 раз, гидрофильную монолитную мембрану – в 20 раз, гидрофобную губчатую мембрану – в 8 раз [3]. Поэтому для оценки водопаропроницаемости материала существенно важны начало и конец диапазона разностей парциальных давлений, в котором он «работает».

Пусть существует некоторый гипотетический диапазон разностей парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала при эксплуатации одежды $\Delta P_{min} – \Delta P_{max}$. По известной формуле (1), связывающей парциальное давление пара с температурой и влажностью, используя средние значения температуры и влажности пространства под одеждой (таблица 1), можно рассчитать по формулам (2) и (3) диапазон разностей парциальных давлений для любых условий эксплуатации одежды.

$$\Delta P = 1.84 \cdot 10^9 \cdot \left(W_{bh} \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_{bh}}\right) - W_h \cdot \exp\left(-\frac{5330}{T_h}\right) \right) \quad (1)$$

где T_h , T_{vh} – значения температуры, $^{\circ}\text{C}$, W_h , W_{vh} – значения относительной влажности, %, снаружи и внутри одежды соответственно.

Человек в одежде может ощущать различную потребность в паропроницаемости материала в зависимости от уровня активности, особенностей метаболизма и т.п. Тем не менее, некоторые ориентировочные значения требуемых значений коэффициента водопаропроницаемости, WVP_{rec} , все же возможно установить, исходя из данных таблицы 1.

Таблица 1

Требуемая водопаропроницаемость материалов одежды

| Тепло-ощущения | T_{vh} , $^{\circ}\text{C}$ | W_{vh} , % | Потери влаги по-тоотделением, г/ч (% от максимума) | Требуемый коэффициент водопаропроницаемости, WVP_{rec} , $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ ч})$ |
|----------------|-------------------------------|--------------|---|---|
| Очень жарко | $\geq 34,6$ | 87 - 96 | 450 – 1950 (около 100%) | 6000 – 26000 |
| Жарко | $34,0 \pm 0,6$ | 58 - 83 | 200 – 450 (около 25%) | 2667 – 6000 |
| Тепло | $32,9 \pm 0,7$ | 50 - 75 | 10 – 200 (около 10%) | 133 – 2667 |
| Комфорт | $31,2 \pm 1$ | 38 - 67 | (около 0) | 0 – 133 |

$$\Delta P_{min} = 2583 - P_2 \quad (2)$$

$$\Delta P_{max} = 5507 - P_1 \quad (3)$$

где ΔP_{max} , ΔP_{min} – значения максимальной и минимальной разности парциальных давлений водяного пара для заданных условий эксплуатации одежды, Па, P_1 , P_2 – значения парциальных давлений водяного пара, Па, при минимальной температуре и влажности и максимальной температуре и влажности наружного воздуха соответственно; 2583, 5507 – парциальное давление водяного пара внутри одежды при теплоощущениях «комфорт» и «очень жарко» соответственно.

На основании анализа метеорологических [4] и физиолого-гигиенических исследований [5, с. 37], рассчитан обобщенный диапазон разностей парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала при эксплуатации одежды любого сезона, который составляет от 107 Па до 5282 Па с серединой 2695 Па. Установлено, что для большинства текстильных материалов возможна

аппроксимация графика изменения коэффициента водопаропроницаемости прямой линией на участке от 2800 Па до 5600 Па, который предложено исследовать для оценки водопаропроницаемости как функции.

Для оценки способности материалов для одежды обеспечивать комфорт человека, пропуская через свою структуру пары воды, требуется дважды провести стандартное испытание гравиметрическим методом в изотермических условиях, варьируя значение температуры T и влажности W воздуха климатической камеры: для $\Delta P_{min} = 2800$ Па это значения $T=34^\circ\text{C}$, $W=47\%$; для $\Delta P_{max} = 5600$ Па это значения $T=37^\circ\text{C}$ $W=14\%$.

Пусть зависимость WVP от ΔP , построенная по двум точкам (середина и конец диапазона разности ΔP), аппроксимируется прямой, которая пересекает границы требуемого значения WVPrec для разных теплоизоляций (табл.1), в некоторых точках T и $Ж$ (рисунок 1).

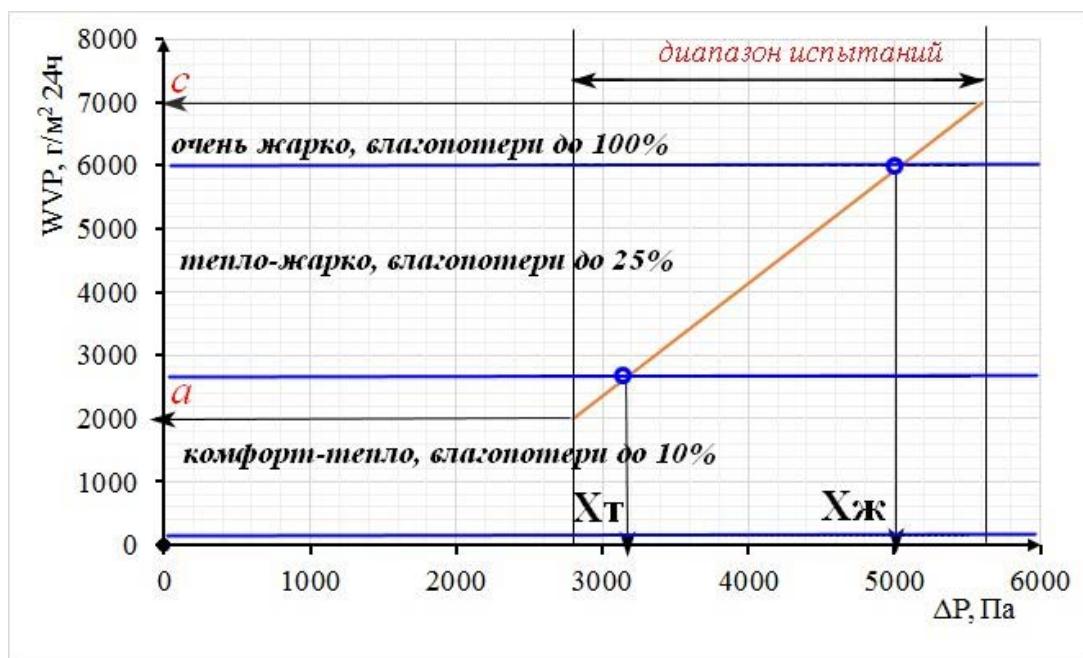


Рис. 1. Схема, поясняющая расчет критерия комфорта материалов

Формула (4) позволяет рассчитать значения абсцисс X_T или X_J по результатам лабораторных испытаний, не прибегая к построению графиков:

$$x = \frac{2800 \cdot (WVP_{rec} - 2 \cdot a + c)}{c - a} \quad (4)$$

где x – абсцисса точки пересечения графика изменения WVP исследуемого материала с границей рекомендуемого значения WVPrec для заданного уровня активности, Па; WVPrec – рекомендуемое значение коэффициента водопаропроницаемости в зависимости от определяемой точки: для Т составляет 2667 г/(м²·24 ч), для Ж – 6001 г/(м²·24 ч); а и с – полученные экспериментально значения WVP материалов при $\Delta P = 2800$ Па и $\Delta P = 5600$ Па соответственно, г/(м²·24 ч).

Новый критерий комфортности K_k основан на определении части диапазона эксплуатации одежды, на которой материал способен пропускать через свою структуру достаточное количество паров воды в расчетном диапазоне разностей парциальных давлений водяного пара по обе стороны от материала при заданной физической активности человека.

Значение критерия K_k комфорта для конкретного уровня активности и конкретного диапазона условий эксплуатации рассчитывают по формуле (5):

$$K_k = \frac{\Delta P_{max} - x}{\Delta P_{max} - \Delta P_{min}} \quad (5)$$

где ΔP_{max} , ΔP_{min} – расчетная максимальная и минимальная разность парциальных давлений соответственно, вычисленная по формулам (1-3) для конкретных условий эксплуатации одежды, Па. Для среднего уровня активности человека в формулу (5) вместо x необходимо подставить X_T , для высокого – X_J . Кроме рекомендуемых таблицей 1 значений WVPrec возможно применение любого другого обоснованного значения, если таков запрос потребителя.

В частных случаях, когда по результатам испытаний материалов выявлено, что точки Т, Ж расположены вне расчетного диапазона, используют следующие правила расчета:

- при $x > \Delta P_{max}$ принимают $x = \Delta P_{max}$, тогда $K_k = 0$ и материал не способен пропускать через свою структуру заданное количество пара при заданных условиях;

- при $x < \Delta P_{min}$ принимают $x = \Delta P_{min}$, тогда $K_k = 1$, следовательно, материал на всем протяжении расчетного диапазона носки способен обеспечивать гомеостаз организма человека, не препятствуя естественным процессам терморегуляции.

Чем ближе значение K_k к 1, тем больше часть диапазона эксплуатации одежды, которая обеспечена достаточным уровнем водопаропроницаемости материала. Интерпретация полученных значений критерия комфортности проводится согласно универсальной вербально-числовой шкале желательности Харрингтона [6].

Апробация разработанного критерия проведена для рационального выбора материалов водозащитной спортивной экипировки для занятий греблей на байдарках и каноэ. Органолептическим методом выбраны водозащитные материалы с мембраной производства фирм «Mikwangfinetex», «Ultrex», «Hipora», состоящие из двух слоев – текстильной тканой или трикотажной основы и полимерной мембраны (№1, №2, №3, №5), и состоящие из трех слоев – текстильной основы, полимерной мембраны и текстильной подкладки (№4 и №6). У всех исследованных образцов полимер текстильных слоев – полиэфир, мембранных – полиуретан (Таблица 2).

Таблица 2

Характеристика объектов исследования

| Номер образца | Переплетение текстильной основы / подкладки | Поверхностная плотность, $\text{г}/\text{м}^2$ |
|---------------|---|--|
| 1 | кулирная гладь | 150 |
| 2 | полотняное | 95 |
| 3 | двуластичное | 134 |
| 4 | ластик 1+1 / ластик 1+1 | 148 |
| 5 | сложное полутораслойное | 139 |
| 6 | кулирное двойное / гладкое платированное | 228 |

Выполненный анализ условий эксплуатации экипировки гребца в климатических условиях Республики Беларусь позволил рассчитать диапазон разностей парциальных давлений водяного пара: $\Delta P_{\min} = 1265 \text{ Па}$, $\Delta P_{\max} = 5197 \text{ Па}$. Рекомендуемое значение коэффициента водопаропроницаемости выбрано для среднего уровня активности спортсменов и составляет $WVP_{\text{rec}} = 3000 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч})$.

Результаты испытаний материалов и расчет критерия комфортности представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний

| Номер образца | WVP, г/(м ² ·24 ч) | | Абсцисса точки пересечения графика WVP образца с уровнем WVP _{рек} = 3000, x, Па | Критерий комфортности, К _к , баллы |
|---------------|-------------------------------|----------------------|---|---|
| | а (при ΔР = 2800 Па) | с (при ΔР = 5600 Па) | | |
| 1 | 3056 | 5848 | 2744 | 0,62 |
| 2 | 2057 | 3125 | 5272 | 0,00 |
| 3 | 884 | 1108 | 29250 | 0,00 |
| 4 | 1025 | 2100 | 7944 | 0,00 |
| 5 | 2249 | 3639 | 4313 | 0,22 |
| 6 | 2427 | 3592 | 4177 | 0,26 |

По результатам оценки исследуемых материалов только три образца из шести выбранных вариантов получили оценку выше нуля, из них только способность образца №1 обеспечивать требуемый уровень паропроницаемости на всем диапазоне условий эксплуатации можно оценить согласно шкале желательности Харрингтона как «удовлетворительно».

Разработанный критерий оценки водопаропроницаемости материалов для одежды, основанный на измерении водопаропроницаемости материала в расчетном температурно-влажностном диапазоне эксплуатации одежды, позволяет определить способность материала пропускать через свою структуру водяной пар в заданных условиях для прогнозирования возможности создания комфортных теплоощущений человека, эксплуатирующего одежду при заданном уровне физической активности.

Литература

1. Mazari, A., Havelka, A. Comparison of textile membranes for moisture transport // Fibres and Textiles. – 2020. – №5. – pp. 24-31.
2. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности: монография / Ю.В. Светлов – Москва: Академия, 2006. – 272 с.

3. Панкевич, Д. К., Мойсейчик А. Ю. Исследование паропроницаемости мембранных материалов различных структур // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2023. – №2 (45). – С. 27-32.
4. Логинов, В.Ф. Современные изменения климата Беларуси // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 51-74.
5. Экологический мониторинг параметров микроклимата : монография / Е. И. Тимофеева, Г.В. Федорович – Москва: НТМ, 2005. – 194 с.
6. Любушин, Н.П., Брикач, Г.Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – №18 (370). – С. 2 – 10