

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2024, Том 9, № 4 / 2024, Vol. 9, Iss. 4 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/28TLKL424.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ивашко, Е. И. Влияние температуры и скорости движения наружного воздуха на паропроницаемость влагозащитных материалов / Е. И. Ивашко, А. Н. Буркин // Костюмология. — 2024. — Т. 9. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/28TLKL424.pdf>

For citation:

Ivashko E.I., Burkin A.N. Influence of temperature and outdoor air velocity on vapor permeability of moisture-protective materials. *Journal of Clothing Science*. 2024;9(4): 28TLKL424. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/28TLKL424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 677.017.623

Ивашко Екатерина Игоревна

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь

Начальник отдела «Испытательный центр»

E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3124-2104>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1098730

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58567181400>

Буркин Александр Николаевич

УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь

Профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: a.burkin@tut.by

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2963-6390>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=800250

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473838700>

Влияние температуры и скорости движения наружного воздуха на паропроницаемость влагозащитных материалов

Аннотация. В статье раскрывается важность проницаемости материалов, из которых изготовлена одежда, её роль для создания благоприятных условий и нормального функционирования организма человека. К такому показателю авторы относят показатель паропроницаемости, который определяет способность материала проводить парообразную влагу через единицу площади образца за определённое время. В статье авторами отмечается большое разнообразие существующих методов и испытательного оборудования, служащего для определения паропроницаемости материалов, используемых для изготовления одежды и подчёркивается существенное различие в значениях, получаемых разными методами. Также отмечается, что большинство существующих методов не обеспечивают близких к эксплуатационным условий проведения испытаний, поэтому авторами предлагается в качестве альтернативной использовать методику определения паропроницаемости влагозащитных материалов, позволяющую моделировать различные условия эксплуатации, и устройство для ее реализации. Показана значимость условий испытаний для интерпретации результатов исследований и выявления факторов, оказывающих существенное влияние на способность влагозащитных материалов транспортировать водяной пар из пространства под одеждой

наружу. Авторами выявлены зависимости паропроницаемости материалов с полиуретановым микропористым покрытием и мембранным слоем от температуры и скорости движения наружного воздуха, которые позволяют прогнозировать паропроницаемость влагозащитных материалов при температуре воздуха от плюс 5°C до плюс 15°C при скорости движения наружного воздуха от 0 до 4 м/с. Выявлено, что с уменьшением температуры окружающего воздуха и увеличением скорости движения наружного воздуха паропроницаемость влагозащитных материалов будет расти.

Ключевые слова: паропроницаемость; эксплуатационные условия; температура; скорость наружного воздуха; влагозащитные материалы; спецодежда; влияние

Введение

Тепловое состояние организма человека существенно зависит от гигроскопических свойств материалов, из которых изготовлена одежда. Способность материала поглощать и отдавать водяные пары, воду играет важную роль для создания благоприятных условий и нормального функционирования организма [1; 2]. Процесс прохождения влаги через материал — сложный многоступенчатый процесс, который складывается из диффузии влаги через поры в структуре материала и прохождения влаги путем ее сорбции и десорбции волокнами материала [3]. Значимость проницаемости материала особенно велика при интенсивной физической нагрузке.

К особой категории изделий относится специальная одежда, которая служит для защиты человека от различных видов воздействия. Для её изготовления используют материалы, обладающие определёнными свойствами. Например, для изготовления специальной одежды для защиты от воды и растворов нетоксичных веществ применяют материалы с водоотталкивающей пропиткой и водонепроницаемым покрытием. Особое место среди влагозащитных материалов завоевали текстильные материалы, имеющие в своём составе мембранный полимерный слой. Благодаря ему материалы обладают способностью отводить парообразную влагу из пододёжного пространства и надёжно защищать от воздействия внешних осадков и ветра.

В литературных источниках встречаются различные методы определения паропроницаемости: вертикально стоящей чаши, «перевернутой чаши», метод «потеющей пластины» и другие менее распространённые [4].

Метод вертикально стоящей чаши или метод Тейлора основан на взвешивании ёмкости с образцом до и после выдерживания в контролируемых условиях. Реализация данного метода имеет ряд отличительных моментов в различных его интерпретациях: условия проведения испытания (температура, влажность), рабочая площадь образца, возможность подогрева ёмкостей или создание над образцом воздушного потока, расстояние между образцом и водой (десикантом), время проведения испытания [5].

Паропроницаемость по методу «перевернутой чаши» определяется также, как и в предыдущем методе, путём взвешивания ёмкостей с образцами до и после испытания. Наполнителем ёмкости служит вода либо поглотитель влаги. Условия проведения, конструкции установок и время проведения испытания в существующих методиках значительно отличаются, что не позволяет сопоставить полученные значения паропроницаемости образцов [6; 7].

Метод «потеющей пластины» моделирует процесс тепломассообмена, который происходит на коже человека. Данный метод основан на измерении количества энергии, которая требуется для поддержания температуры соответствующей температуре человеческой кожи. В ходе испытания с поверхности пластины испаряется вода, которая проходит через

исследуемый материал во внешнюю среду [3; 8].

Среди большого разнообразия методик по определению паропроницаемости материалов, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой. Стандартные методики, используемые для оценки паропроницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения паропроницаемости варьируют в широком диапазоне [9]. По мимо этого условия, установленные в стандартных методиках, далеки от условий эксплуатации специальной одежды из этих материалов. Большинство методик проводится при температурах окружающего воздуха свыше $+20^{\circ}\text{C}$, тогда как для эксплуатации специальной одежды наиболее приемлемыми являются температуры ниже этого значения. Многие из методик не предусматривают подогрев чаш, который бы имитировал температуру тела носчика и обдув, который бы моделировал ветер.

Коллективом авторов УО «Витебский государственный технологический университет» была разработана методика определения паропроницаемости материалов легкой промышленности, позволяющая моделировать различные условия эксплуатации [9], и устройство для ее реализации. В основу разработок были заложены результаты анализа литературных источников, освещающих вопросы влияния температуры и скорости движения наружного воздуха на паропроницаемость [10; 11].

Целью данной работы является определение влияния температуры и скорости наружного воздуха на уровень паропроницаемости влагозащитных материалов, имеющих разную структуру и используемых для изготовления специальной одежды.

Объекты исследований

Для реализации поставленной цели были исследованы образцы влагозащитных материалов с полиуретановым микропористым покрытием (ПлПУМ) и мембранным слоем (ПлЛАМ), производства ОАО «Моготекс» (Республика Беларусь). Все образцы выработаны из полиэфирных нитей и имеют тканую основу, выполненную полотняным переплетением.

Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов

Артикул	Поверхностная плотность, г/м ²	Число нитей на 10 см		Толщина, мм
		по основе	по утку	
ПлПУМ	142	538	498	0,20
ПлЛАМ	134	504	346	0,19

Составлено авторами

Методы и средства исследований

Оценка уровня паропроницаемости влагозащитных материалов характеристика, которых представлена в таблице 1, проводилась на устройстве для контроля паропроницаемости¹, представленном на рисунке 1 по методике, позволяющей моделировать различные условия эксплуатации [9].

¹ Патент № 13087 Республика Беларусь, МПК G01N3/20. Устройство для контроля паропроницаемости: № и 20220111; заявлено 16.05.2022; опублик. 30.12.2022 / Буркин, А.Н., Панкевич, Д.К., Борозна, В.Д., Ивашко, Е.И., Терентьев А.А. — 3 с.: ил. — Текст: непосредственный.

Для испытания подготавливали элементарные пробы квадратной формы с размером стороны 115 мм и оценивали поверхность материала. На испытываемых образцах не должно быть дыр, проколов, и дефектов покрытия, определяемых визуально. Затем образцы выдерживали в развернутом виде в климатических условиях при относительной влажности воздуха (65 ± 4) % и температуре воздуха (20 ± 2) °C не менее 24 ч.

Перед началом проведения испытания комплектовали чашки для образцов. Для этого их наполняли водой, на шпильки устанавливали силиконовую прокладку, на которую располагали образец изнаночной стороной к воде и закрывали крышкой добиваясь герметичности с помощью последовательного закручивания гаек.

Скомплектованные чаши помещали на электроконфорки устройства для контроля паропроницаемости. Далее устанавливали условия испытания: задавали скорость вращения и положение лопаток крыльчатки; на пульте управления климатической камерой, в которой расположено устройство, задавали параметры температуры и влажности окружающего воздуха, а когда нужные значения были достигнуты, подключали устройство к сети и отмечали время начала испытания.

Через час после достижения равновесного градиента давления водяного пара в испытательной конструкции проводили взвешивание каждого комплекта «чашка-образец». Затем возвращали их на столик и продолжали испытания до истечения заданного времени.

После окончания испытаний комплекты «чашка-образец» повторно взвешивали.

Показатель паропроницаемости вычисляли по формуле (1):

$$VP = \frac{24 \cdot m}{A \cdot t}, \quad (1)$$

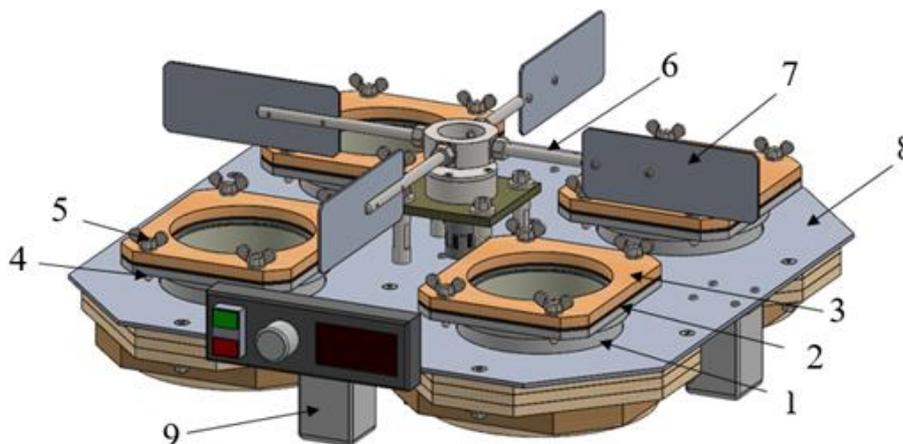
где:

m — потеря массы комплектом «чашка-образец» за период времени t , г;

t — интервал времени между последовательными взвешиваниями комплекта, ч;

A — экспонируемая площадь элементарной пробы образца (равная площади отверстия в крышке чашки), м².

За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое всех результатов измерений.



1 — чашка для образца; 2 — силиконовая прокладка; 3 — крышка; 4 — шпилька; 5 — гайка; 6 — крыльчатка; 7 — лопатка; 8 — столик; 9 — опора

Рисунок 1. Внешний вид устройства для контроля паропроницаемости (рисунок авторов)

Предложенная методика позволяет определить паропроницаемость влагозащитных материалов в условиях, близких к эксплуатационным, и оценить влияние регулируемых параметров на величину паропроницаемости.

Результаты исследований

Для определение влияния температуры и скорости наружного воздуха на уровень паропроницаемости влагозащитных материалов (табл. 1), используемых для изготовления специальной одежды, были определены диапазон и интервалы варьирования управляемых факторов исходя из требований ГОСТ EN 343-2021 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от дождя. Технические требования и методы испытаний» и данных источников [12; 13]. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ п/п	T Температура воздуха, °C	V Скорость движения наружного воздуха, м/с	VP ₁ Паропроницаемость образца ПлПУМ, г/м ² /24 ч	VP ₂ Паропроницаемость образца ПлЛАМ, г/м ² /24 ч
1	5	0	1 536	6 083
2	10	0	1 316	5 815
3	15	0	1 279	5 389
4	5	2	2 121	6 300
5	10	2	1 864	6 108
6	15	2	1 794	5 736
7	5	4	2 878	6 613
8	10	4	2 644	6 396
9	15	4	2 457	6 008

Составлено авторами

Требования к показателю паропроницаемости в стандартах, распространяющихся на одежду специальную и действующих на территории Республики Беларусь, встречаются крайне редко. Гигиенические показатели, к которым предъявляются требования в этих стандартах это — воздухопроницаемость и гигроскопичность, но как уже было сказано влагозащитные материалы, имеющие в структуре мембранный слой плохо пропускают воздух (являются ветрозащитными) и имеют воздухопроницаемость менее 5 дм³/м²·с. Благодаря своей возможности выводить парообразную влагу данные материалы способны обеспечить комфортный микроклимат в пододёжном пространстве, что делает их применимыми для изготовления специальной одежды, но если соблюдать требования стандартов, то данные материалы не могут быть использованы поскольку имеют уровень воздухопроницаемости ниже необходимого (не менее 20 дм³/м²·с) и это приводит к тому, что материалы, обладающие высокими защитными свойствами, оказываются не пригодными и производители специальной одежды вынуждены делать выбор в пользу других материалов.

В Российской Федерации встречается ряд стандартов, которые регламентируют требования к показателю паропроницаемости для специальной одежды и материалов с покрытием. Так в ГОСТ Р 12.4.288-2013 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от воды. Технические требования», распространяющемся на специальную одежду, предназначенную для защиты от воды работающих, занятых в различных отраслях промышленности установлено, что паропроницаемость должна определяться по методике в неизотермических условиях, описанной в ГОСТ 22900-78 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения» и должна быть не менее 4 мг/см² ч. В ГОСТ Р 57514-2017 (ИСО 8096:2005) «Ткани с резиновым или

полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия», устанавливающим требования к тканям с покрытием, проницаемым и непроницаемым для водяного пара, подходящим для использования в конструировании водонепроницаемой одежды описан метод определения паропроницаемости с помощью приспособления с вращающимся столиком и устанавливаются требования к показателю паропроницаемости в зависимости от использования материала. Минимально допустимое значение паропроницаемости для материалов, используемых в одежде при высокой физической активности носчика, составляет 360 г/м²/24 ч.

Разброс нормируемых значений обусловлен различиями в применяемых средствах определения паропроницаемости и условиях испытания, что приводит к получению существенно разных результатов для одного и того же образца материала.

Исходя из данных таблицы 2 можно заметить, что способность пропускать пары влаги у влагозащитного материала ПЛЛАМ значительно выше, чем у влагозащитного материала с полиуретановым микропористым покрытием ПЛПУМ. Находясь в одинаковых условиях значение паропроницаемости влагозащитного материала с мембранным слоем ПЛЛАМ почти в 3–4 раза превышает значение паропроницаемости материала ПЛПУМ. Следовательно, в специальной одежде, изготовленной из материала ПЛЛАМ работник будет ощущать себя намного комфортнее, чем в одежде из влагозащитного материала с полиуретановым микропористым покрытием ПЛПУМ.

С помощью пакета прикладных программ «Statistica for Windows» были найдены оценки коэффициентов регрессии. Уравнения регрессии для исследуемых образцов имеют вид (2–3).

$$VP_1 = 1681,33 - 33,50 \cdot T + 320,67 \cdot V ; (R^2 = 0,98). \quad (2)$$

$$VP_2 = 6382,44 - 62,10 \cdot T + 144,17 \cdot V ; (R^2 = 0,98). \quad (3)$$

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

Значение паропроницаемости у исследуемых образцов уменьшалось при увеличении температуры воздуха, как при максимальной скорости движения наружного воздуха, так и при полном отсутствии движения воздуха. Что вероятнее всего обусловлено снижением разности парциального давления. С увеличением скорости потока воздуха над образцами значение паропроницаемости росло.

Полученные уравнения регрессии имеют вид прямой, следовательно, имеем линейную зависимость паропроницаемости от температуры и скорости движения наружного воздуха.

Анализируя полученные регрессионные модели, можно сделать заключение о том, что с уменьшением температуры окружающего воздуха и увеличением скорости движения наружного воздуха паропроницаемость влагозащитных материалов будет расти.

Полученные зависимости паропроницаемости материалов с полиуретановым микропористым покрытием и мембранным слоем от температуры и скорости движения наружного воздуха позволяют прогнозировать паропроницаемость влагозащитных материалов при температуре воздуха от плюс 5°C до плюс 15°C при скорости движения наружного воздуха от 0 до 4 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mazari, A. Comparison of textile membranes for moisture transport / Mazari A., Havelka A. // *Fibres and Textiles*. — 2020. — vol. 5. — pp. 24–31.

2. Jeong, W.Y. The transport properties of polymer membrane-fabric composites / Jeong W.Y., An S.K. // Journal of materials science. — 2001. — vol. 36. — pp. 4797–4803.
3. Буркин, А.Н. Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов: монография / А.Н. Буркин, Д.К. Панкевич; УО «ВГТУ». — Витебск, 2020. — 189 с.
4. Глушкова, Т.В. Методы испытаний и сравнительная характеристика паропроницаемости трехслойных мембранных полотен / Т.В. Глушкова, Е.Ю. Игнатюк // Инновации и современные технологии в индустрии моды: материалы III Всероссийской научно-практической конференции / Новосибирский технологический институт (филиал) РГУ имени А.Н. Косыгина. — Саратов, 2020. — С. 67–73.
5. Rasha Mustapha Modified upright cup method for testing water vapor permeability in porous membranes / Rasha Mustapha, Assaad Zoughaib, Nesreen Ghaddar, Kamel Ghali // Energy. — 2020. — vol. 195. — pp. 1–22.
6. Elizabeth A. Mccullough A comparison of standard methods for measuring water vapour permeability of fabrics / Elizabeth A. Mccullough, Myoungsook Kwon, Huensup Shim // Measurement Science and Technology. — 2003. — vol. 14(8). — pp. 1402–1408.
7. Jianhua Huang Comparison of Test Methods for Measuring Water Vapor Permeability of Fabrics / Jianhua Huang, Xiaoming Qian // Textile Research Journal. — 2008. — vol. 78(4). — pp. 342–352.
8. Полушин, Е.Г. Изучение паропроницаемости дублированных текстильных материалов / Е.Г. Полушин, О.В. Козлова, О.И. Одинцова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2019. — № 6(384). — С. 154–158.
9. Ивашко, Е.И. Методика определения паропроницаемости водозащитных материалов / Е.И. Ивашко, А.Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2023. — № 2(45). — С. 9–16.
10. Jianhua Huang Effects of air temperature, relative humidity, and wind speed on water vapor transmission rate of fabrics / Jianhua Huang, Yubo Chen // Textile Research Journal. — 2010. — vol. 80(5). — pp. 422–428.
11. Gibson, P.W. Effect of Temperature on Water Vapor Transport Through Polymer Membrane Laminates / Gibson P.W // Polymer Testing. — 2000. — vol. 19(6). — pp. 673–691.
12. Волчек, А.А. Современный ветровой режим Беларуси / А.А. Волчек, А.В. Гречаник // Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств: материалы V Международной научно-практической конференции / Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины. — Гомель, 2019. — С. 379–381.
13. Михеева, А.И. Географическое распределение температуры воздуха в Беларуси / А.И. Михеева // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов "Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса". Секция "Дорожная климатология". В 6 ч. Ч. 1 / науч. рук. И.И. Леонович. — Минск: БНТУ, 2013. — С. 116–138.

Ivashko Ekaterina Igorevna

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3124-2104>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1098730

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=58567181400>

Burkin Alexander Nikolaevich

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: a.burkin@tut.by

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2963-6390>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=800250

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473838700>

Influence of temperature and outdoor air velocity on vapor permeability of moisture-protective materials

Abstract. The article reveals the importance of permeability of materials from which clothing is made, its role in creating favorable conditions and normal functioning of the human body. To such an indicator the authors refer to the index of vapor permeability, which determines the ability of the material to conduct vaporous moisture through a unit area of the sample for a certain time. In the article the authors note a great variety of existing methods and test equipment used to determine the vapor permeability of materials used for clothing and emphasize the significant difference in the values obtained by different methods. It is also noted that most of the existing methods do not provide close to operational test conditions, so the authors propose as an alternative to use the method of determining the vapor permeability of moisture-protective materials, which allows modeling various operating conditions, and a device for its implementation. The significance of test conditions for interpretation of research results and identification of factors that have a significant impact on the ability of moisture-protective materials to transport water vapor from the space under the clothes to the outside is shown. The authors have revealed dependences of vapor permeability of materials with polyurethane microporous coating and membrane layer on temperature and outdoor air velocity, which allow predicting vapor permeability of moisture-protective materials at air temperature from plus 5°C to plus 15°C at outdoor air velocity from 0 to 4 m/sec. It was revealed that with decreasing ambient air temperature and increasing outdoor air velocity the vapor permeability of moisture-protective materials will increase.

Keywords: vapor permeability; operating conditions; temperature; outdoor air velocity; moisture-protective materials; overalls; influence