

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕМБРАН НА ВОДОПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ ИХ МАТЕРИАЛОВ

### INFLUENCE OF MEMBRANE STRUCTURE AND PROPERTIES ON WATER VAPOR PERMEABILITY OF MATERIALS CONTAINING THEM

УДК 677.017.6

Д.К. Панкевич\*, Е.И. Ивашко

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-68-79>

D. Pankevich\*, E. Ivashko

Vitebsk State Technological University

#### РЕФЕРАТ

*ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕМБРАНА, СТРУКТУРА, ТОЛЩИНА, ВОДОПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ, МАССОПРОВОДНОСТЬ*

*Объектом исследования являются комплексные двухслойные материалы, содержащие текстильный тканый слой и мембранный микропористый губчатый слой, имеющие различное соотношение толщин входящих в композит слоев и различные характеристики сорбционных и массообменных свойств полимера мембраны.*

*Предметом исследования является уровень водопарпрооницаемости мембранных текстильных материалов.*

*Цель работы – выявление закономерности изменения водопарпрооницаемости мембранных текстильных материалов при изменении толщины и коэффициента массопроводности входящих в их состав мембран для прогнозирования и создания комфортных условий функционирования человека в одежде.*

*В процессе работы выполнено исследование структуры и физико-механических свойств комплексных двухслойных материалов. Проведены исследования морфологии, толщины, коэффициента водопарпрооницаемости мембранных материалов, а также толщины и коэффициента массопроводности мембран, входящих в их состав. Результаты исследований сопоставляли между собой.*

*Результат работы – выявлено, что наибольшее влияние на показатель водопарпрооницаемости материала оказывают коэффициент массопроводности мембраны и отношение коэф-*

#### ABSTRACT

*WATERPROOF MATERIALS, MEMBRANE, STRUCTURE, THICKNESS, WATER VAPOR PERMEABILITY, MASS CONDUCTIVITY*

*The paper considers the influence of membrane layer thickness, its sorption and mass transfer properties on the vapor permeability of membrane textile materials for waterproof clothing. Two-layer textile materials containing a textile woven layer and a membrane microporous sponge layer made of hydrophilic, hydrophobic and combined polymers are investigated. Images obtained by scanning electron microscopy are presented characteristic of each of the groups of samples under consideration. It was revealed that despite the external similarity of the microscope observed structures of the samples grouped according to the principle of membrane hydrophilicity and hydrophobicity, the materials are characterized by different mass conductivity coefficients. The authors of the article confirmed that the membrane mass conductivity coefficient is a value that simultaneously takes into account both the ability to be wetted by water and the properties of the porous structure of the polymer membrane. The membrane mass conductivity coefficient linearly correlates with the water permeability of the complex material.*

\* E-mail: [dashapan@mail.ru](mailto:dashapan@mail.ru) (D. Pankevich)

*коэффициента массопроводности мембраны к общей толщине комплексного материала. Установлено, что независимо от сорбционных свойств полимера мембраны и структуры текстильного слоя доля толщины мембраны в общей толщине композита в паре с коэффициентом массопроводности мембраны определяют способность комплексного мембранного водонепроницаемого материала пропускать через себя пары воды.*

*Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.*

Качество продукции формируется на всех этапах ее жизненного цикла и неразрывно связано с умением рационально использовать свойства применяемых при ее изготовлении материалов в соответствии с конкретными условиями эксплуатации. В связи с этим одной из важных задач, обеспечивающих дальнейшее развитие легкой промышленности, является получение и систематизация знаний о связи свойств материалов и их структурных характеристик для обеспечения качества выпускаемой продукции. Особенно важны такие знания для оптимизации производства комплексных текстильных материалов, полученных объединением разнородных элементов структуры, ведь состав компонентов, их взаимное расположение и способ соединения определяют основные потребительские свойства конечного продукта.

Функциональность и эргономичность изделия являются базовыми потребительскими свойствами, которые решают существенную проблему создания для человеческого тела и организма экологически и эргономически комфортной среды.

Формирование оптимального микроклимата регулируется в первую очередь проницаемостью материалов. К материалам для водонепроницаемой одежды предъявляются противоречивые с точки зрения проницаемости требования: они должны защищать тело человека от проникания воды в пространство под одеждой и одновременно позволять парообразной влаге беспрепятственно покидать его. Указанному требованию соответствуют водозащитные мембранные текстильные материалы, сочетающие в своей структуре текстильные и полимерные слои.

Объектами исследования являются материалы для водонепроницаемой одежды, содержащие полиэфирный (ПЭ) текстильный слой, соединенный тонким сплошным слоем связующего с микропористыми мембранами из гидрофобных, гидрофильных полимеров или их комбинации. Все объекты исследования получены методом ламинирования текстильной основы мембраной и используются в качестве материалов верха водонепроницаемой одежды. Поровая структура объектов исследования чрезвычайно развита, полимерный мембранный слой содержит огромное количество пустот, пор, каналов, связанных между собой и обеспечивающих выведение влаги из пространства под одеждой, при этом размер пор не позволяет влаге извне проникать сквозь материал.

Высокий уровень паропроницаемости является признаком качества и комфортности мембранного материала для одежды. Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности водозащитных материалов пропускать пары воды, 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 показателей паропроницаемости варьируют в широком диапазоне. В настоящее время известны разновидности гравиметрического метода определения коэффициента паропроницаемости (ASTM E96-90, JIS L 1099, ГОСТ Р 57514-2017, ISO 8096:2005),

позволяющие получать результаты в единицах  $г/(м^2 \cdot 24 ч)$ , и методы определения показателя сопротивления тепловому потоку испарения (ISO 11092:1993, ISO 1999, ASTM F 1868, EN 31092), которые позволяют получить результат в единицах  $м^2 \cdot Па/Вт$ .

Показатель сопротивления тепловому потоку испарения Ret (Resistance Evaporative Thermique) подсчитывается исходя из того, сколько энергии надо затрачивать на поддержание постоянной температуры «потеющей» металлической пластины. Чем он меньше, тем выше паропроницаемость материала.

В настоящее время приборная база для определения показателей паропроницаемости текстильных материалов представлена различными по конструкции и методическому обеспечению средствами. Отсутствие единства не позволяет сравнивать значения показателей паропроницаемости между собой [1].

На территории РФ исследование паропроницаемости материалов для водонепроницаемой одежды проводится согласно ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Показатель водопаропроницаемости (способности материала пропускать водяной пар, сохраняя при этом высокую степень водонепроницаемости [2]) должен составлять не менее  $360 г/(м^2 \cdot 24 ч)$ . В ближайшее время этот стандарт будет введен в действие и на территории РБ.

Для получения высокого уровня показателей водопаропроницаемости водонепроницаемых материалов с мембраной необходимо изучить, какие факторы влияют на его величину, чтобы управлять этим свойством.

Известны работы авторов Ю. В. Светлова, Т. И. Чалых, А. В. Куличенко, М. В. Родичевой, А. В. Абрамова, посвященные гигиенической оценке материалов для одежды и обуви [3–6]. В указанных работах рассмотрены однослойные текстильные материалы, натуральные и искусственные кожи и различные показатели их паропроницаемости, определяемые при различных моделируемых условиях, но не специфические для водонепроницаемой одежды. Исследованием свойств водонепроницаемых материалов для одежды,

содержащих мембрану, занимаются ученые G. R. Lomax, A. R. Tehrani-Bagha, A. Mukhopadhyay, V. Midha, A. Gulbinienė, А. В. Вершинина. Однако взаимосвязь структуры и свойств материалов прослеживается в указанных работах опосредованно, либо в интерпретации результатов исследований с иной целью, либо как функциональная зависимость, выявленная по результатам анализа размерностей [7–11]. В работе автора Eryuruk S.H. показана тесная корреляционная связь между тепловым сопротивлением и толщиной, паропроницаемостью и стойкостью к водяному пару для многослойных материалов для одежды. Выяснилось, что на тепло- и влагокомфортность существенно влияет структура слоёв комплексного материала [12].

Известно, что массоперенос является комплексным понятием, и в зависимости от условий протекания процесса, его связывают либо с процессами проницаемости, либо с кинетикой сорбции и набуханием, либо с растворением приведенных в контакт двух фаз, либо с перераспределением компонентов внутри материала [4].

Массоперенос материалов исследуют различными способами. В источнике [3] предложено изучать проницаемость материалов при стационарном переносе паров влаги массой  $m$  из воздушного пространства стакана в воздушное пространство климатической камеры через поверхность образца площадью  $F$  толщиной  $\delta$  за время  $\tau$  при наличии разности парциальных давлений паров влаги  $\Delta P$  в этих пространствах. Определяемую величину называют удельным потоком массопередачи – характеристикой процесса, которая, в свою очередь, является функцией двух характеристик: разности парциальных давлений пара в стакане и в пространстве климатической камеры  $P_{cm} - P_{кк}$  и коэффициента массопередачи  $K_m$  [3, 4]. При этом в случае стандартного опыта  $P_{cm} - P_{кк} = const$ , а коэффициент массопередачи  $K_m$  определяется природными свойствами исследуемого образца материала, формой и размерами поверхности, толщиной образца, видом отделки поверхности, свойствами наполнителей, их количественным составом. Рассчитать коэффициент массопередачи можно по формуле (1) [3].

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{1}{\beta_2}}, \quad (1)$$

где  $\beta_1$  и  $\beta_2$  – коэффициенты массоотдачи на первом и третьем этапах переноса пара,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм рт. ст.})$ ;  $\lambda_m$  – коэффициент массопроводности (паропроводности) вещества образца материала, физическая константа, определяющая свойства вещества,  $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{мм рт. ст.})$ ;  $\delta$  – толщина образца материала,  $\text{м}$ .

Вероятно, коэффициент массопроводности  $\lambda_m$  является той величиной, которая учитывает одновременно и способность материалов смачиваться водой, и свойства пористой структуры.

Благодаря работам Т.И. Чалых в области обувного материаловедения установлено, что процесс паропроницаемости в полимерных пористых мембранах различных типов определяется двумя потоками – сорбционным потоком, связанным с поглощением паров воды полимерным каркасом, и фазовым потоком, характеризующим процесс переноса по его сквозной пористой структуре. В многослойных системах паропроницаемость всего комплексного материала определяется суммой отношений паропроницаемости каждого слоя к его объемной доле в составе системы [4].

Исходя из анализа источников литературы, можно сделать вывод, что все исследователи материалов легкой промышленности отмечают влияние природы полимера и толщины слоев, входящих в исследуемый материал, на паропроницаемость, но современные водозащитные мембранные материалы не подвергались специальному исследованию взаимосвязи сорбционных, массообменных и структурных характеристик полимерных мембран и нового стандартного показателя водопаропроницаемости, что подтверждает актуальность выбранной тематики. Ведь зная наперед определяющие водопаропроницаемость параметры, можно влиять на уровень комфортности одежды либо в процессе подбора материалов в пакет одежды, либо при проектировании материалов.

Целью работы является выявление закономерности изменения водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов при из-

менении толщины и коэффициента массопро-водности входящих в их состав мембран для прогнозирования и создания комфортных условий функционирования человека в одежде.

Для реализации цели работы определяли толщину слоев комплексного материала, проводили исследование коэффициента водопаропроницаемости по ГОСТ Р 57514-2017 и коэффициента массопроводности по методике, изложенной в источнике [3]. Результаты исследований сопоставляли между собой, используя изложенные в литературе [4] и предполагаемые интуитивно зависимости. Так, известно, что для кож с различной толщиной диффузионной гигиенической характеристикой является гигропроводимость, определяемая как отношение коэффициента массопроводности к толщине. Этот параметр позволяет оценить и сопоставить гигиенические характеристики кож с различными природными свойствами и толщинами. Также авторами статьи замечено, что для материалов, содержащих гидрофобный пористый слой, увеличение доли полимерного мембранного слоя в общей толщине материала приводит к увеличению паропроницаемости [13].

Коэффициент массопроводности определяли известным методом Тейлора или «вертикально стоящей чаши», при котором исследуемый образец является герметизирующей мембраной сосуда, содержащего воду. Сосуд с образцом помещают на определенное время в контролируемые условия в эксикатор, чтобы создать разность концентрации водяных паров по обе стороны от исследуемого материала. На дне эксикатора находится концентрированная серная кислота, непрерывно поглощающая диффундирующие через образец материала пары воды. Сосуд с образцом взвешивают до и после проведения опыта. Используют две элементарные пробы одного и того же образца, но различной толщины  $\delta_1$  и  $\delta_2$ .

В данном случае использовали отделенную от текстильного слоя образца мембрану в одно и в два сложения, определяя убыль массы воды  $\Delta \bar{M}_1$  из сосуда, закрытого одним слоем мембраны, и убыль массы воды  $\Delta \bar{M}_2$  из сосуда, закрытого двумя слоями мембраны.

Определить коэффициент массопроводности  $\lambda_m$  можно по формуле (2) [3]

$$\lambda_m = \left( \frac{\delta_2 / \delta_1 \cdot \Delta M_2}{\Delta M_1 - \Delta M_2} + 1 \right) \cdot \frac{\Delta M_1 \cdot \delta_1}{\Delta P \cdot \Delta \tau \cdot F} \quad (2)$$

Учитывая, что отношение толщин элементарных проб образца ( $\delta_2/\delta_1$ ) составляет постоянную величину в данном опыте и равно 2, а величина  $\Delta P \Delta \tau F$  является постоянной и определяется временем  $\Delta \tau$  экспозиции образцов (18 часов или 64 800 секунд), экспонируемой площадью  $F$  (0,000491 м<sup>2</sup>) элементарных проб и разностью  $\Delta P$  парциальных давлений водяного пара при установленных методикой условиях опыта (17,54 мм. рт. ст.), формула примет вид (3):

$$\lambda_m = \left( \frac{2 \cdot \Delta M_2}{\Delta M_1 - \Delta M_2} + 1 \right) \cdot \frac{\Delta M_1 \cdot \delta_1}{558,07} \quad (3)$$

где  $\Delta M_1$  и  $\Delta M_2$  – убыль воды из сосудов, закрытых соответственно одним и двумя слоями мембраны,  $z$ ;  $\delta_1$  – толщина одного слоя мембраны, мм.

Структурные характеристики образцов исследованы с помощью растрового электронного

микроскопа VEGA II LSH методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в лаборатории Белорусского республиканского центра зондовой микроскопии Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель (таблица 1). Учитывая низкую электропроводность исследуемых материалов, с целью исключения накапливания зарядов и получения достаточно контрастной картины на поверхность образцов напылялся металл с низкой степенью окисления, в данном случае золото. Напыление производилось в специальной вакуумной камере путем нагрева и испарения металла в вакууме.

Исследованию подвергали комплексные двухслойные материалы, содержащие текстильный тканый слой и мембранный полиуретановый микропористый губчатый слой производства фирм Mikwang finetex, Ultrex, Hiora. Изучали свойства материалов, выдерживающих без промокания гидростатическое давление около 100 кПа, а следовательно, имеющих схожие характеристики пористости мембранного слоя [14].

Гидрофильность и гидрофобность мембран, входящих в структуру композитов, установлены

Таблица 1 – Характеристика образцов

Номер образца	Толщина, мм		Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Характеристика текстильного слоя
	общая	мембраны		
образцы с гидрофильной мембраной				
1	0,138	0,08	98	ПЭ, полотняное переплетение
2	0,260	0,07	117	ПЭ, основной полурепс
3	0,250	0,09	142	ПЭ, полотняное переплетение
4	0,200	0,09	101	ПЭ, полотняное переплетение
5	0,195	0,04	110	ПЭ, полотняное переплетение
образцы с гидрофобной мембраной				
6	0,237	0,13	142	ПЭ, саржевое переплетение
7	0,245	0,12	126	ПЭ, комбинированное переплетение
8	0,260	0,14	128	ПЭ, полотняное переплетение
9	0,242	0,11	133	ПЭ, полотняное переплетение
10	0,150	0,09	109	ПЭ, полотняное переплетение
11	0,220	0,1	160	ПЭ, полотняное переплетение
образец с комбинированной мембраной				
12	0,2	0,1	139	ПЭ, комбинированное переплетение

по характеру изменения материала после погружения в воду. Образцы, содержащие гидрофильную мембрану, после погружения в воду скручиваются в плотный рулон мембраной наружу (мембрана впитывает воду и увеличивается в размерах), а образцы с гидрофобной мембраной либо скручиваются текстильным слоем наружу, либо остаются практически неизменными.

Толщину слоев определяли толщиномером индикаторным ТР-10-60 с пределом допускаемой погрешности 0,01 мм. Мембрану предварительно отделяли от текстильной основы.

На рисунках 1, 2 и 3 представлены изображения характерных для каждой группы образцов, полученные методом сканирующей электронной микроскопии. Поверхность образцов показана при увеличении 4500 крат, поперечный срез – 900 крат.

На рисунке 1 хорошо видна структура пор мембранного слоя образцов с гидрофильной мембраной (№1–5). Полимер, покрытый сетью мелких пор с выходящими на поверхность устьями диаметром не более 5 мкм, вблизи текстильного слоя образует крупные полости с пористыми стенками так, что для некоторых полостей филаменты нитей, образующих текстиль-

ный слой, являются стенкой.

Образцы № 6–11 с гидрофобной мембраной имеют иной характер пористости мембранного слоя (рисунок 2): устья пор на поверхности мембраны значительно меньше, очень редко визуализируется устье диаметром 2 мкм, основная масса пор имеет диаметр устья менее 1 мкм, а крупные поры конической формы сосредоточены в центре мембраны и не прилегают к текстильному слою.

Наиболее интересна структура комбинированного мембранного слоя образца № 12 (рисунок 3). Его поверхность покрыта микрочастицами пористой органоглины, внедренной в монолитный гидрофильный слой. Устья пор органоглины размером менее 1 мкм сливаются в протяженные разветвленные трещины, пронизывающие всю микрочастицу, средний размер которой около 10 мкм, поэтому установить диаметр устьев пор затруднительно. Пористая структура гидрофобной части мембраны похожа на структуру образцов № 6–11, отличием является наличие очень крупных полостей на границе мембрана-текстиль.

Эксперимент проводили на образцах, имеющих различное соотношение толщин входящих

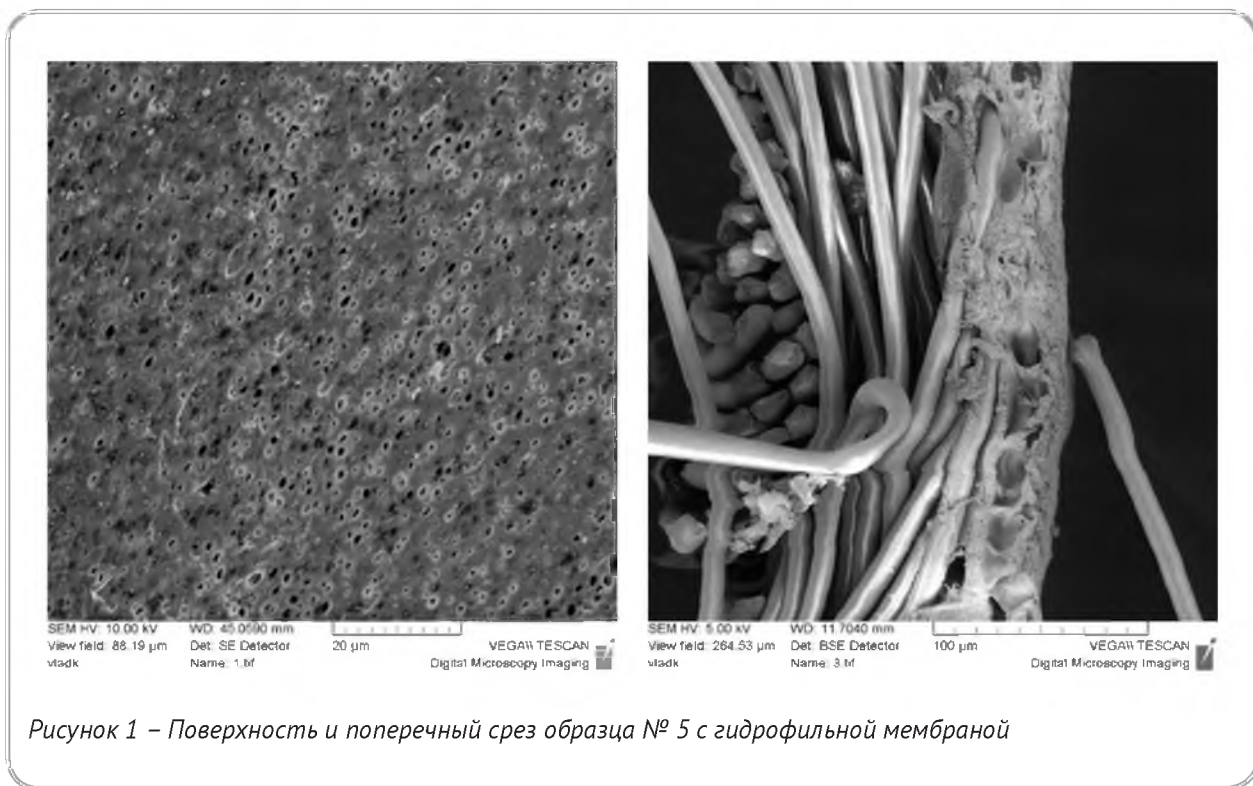
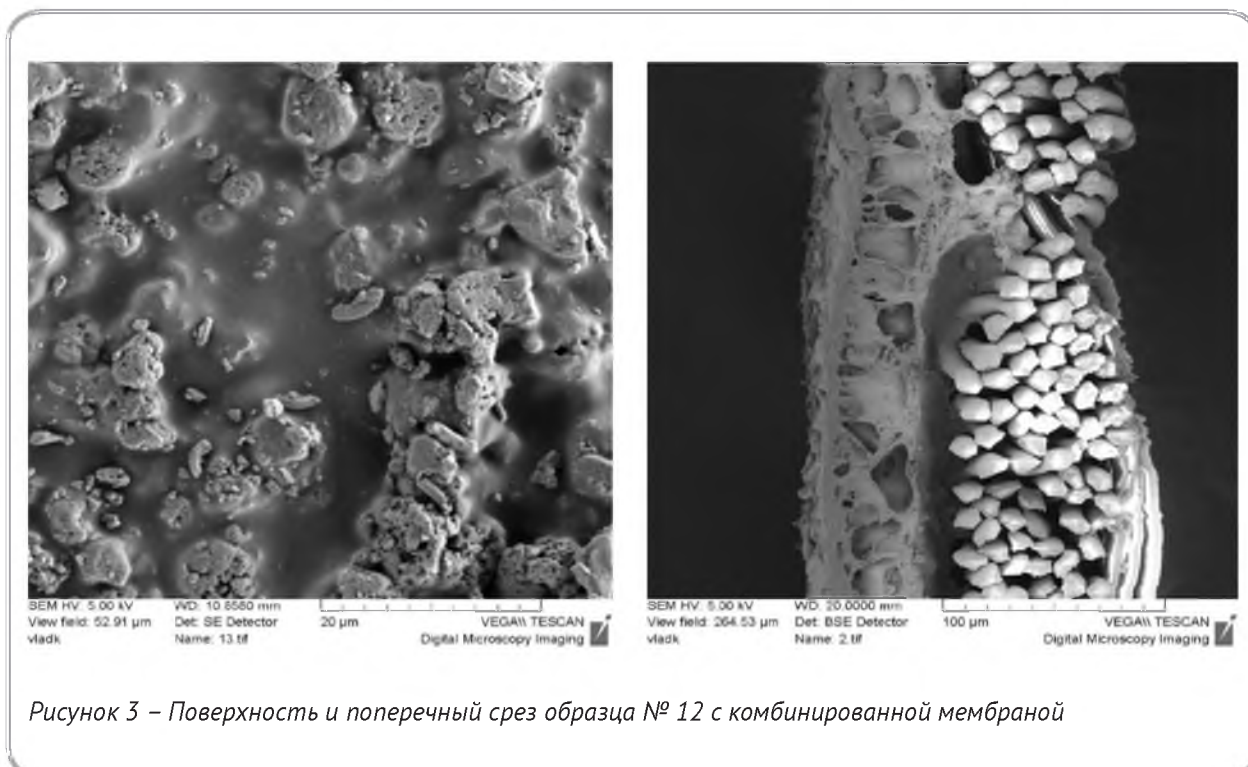
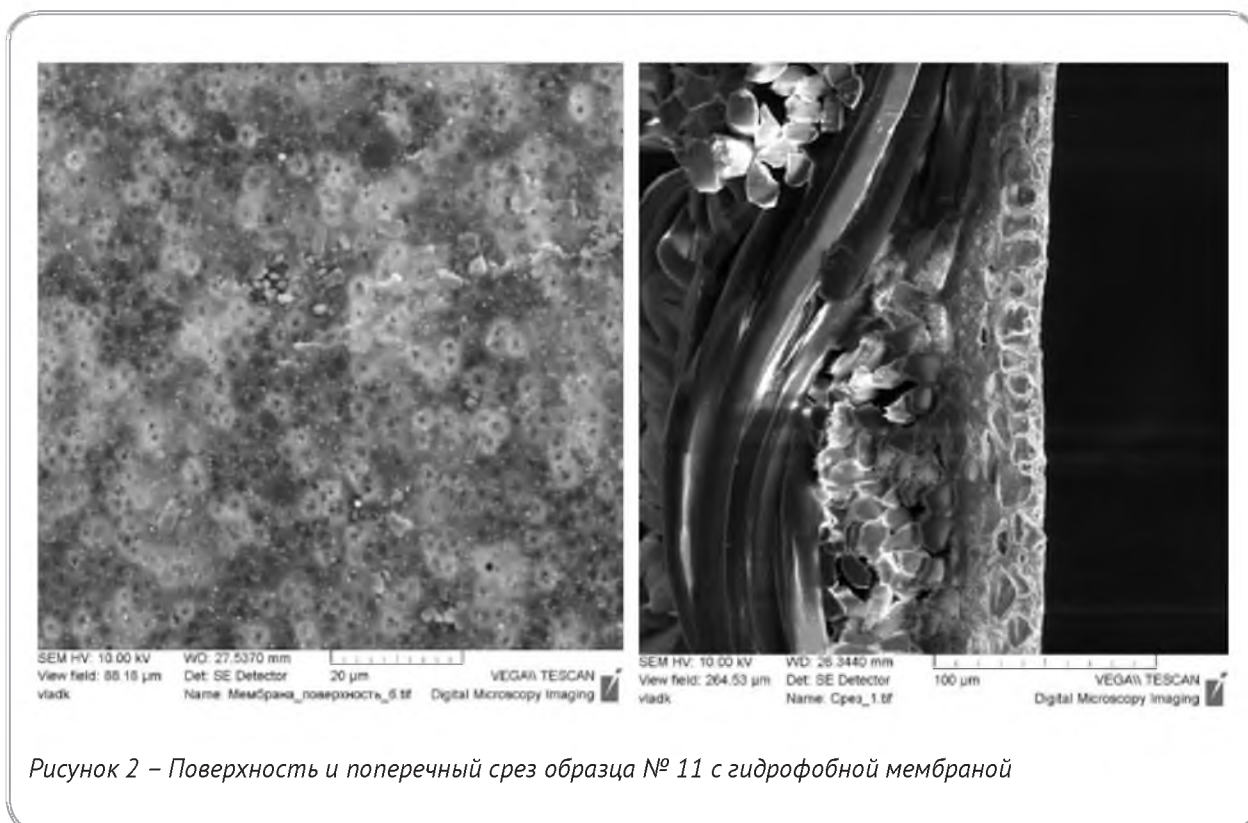


Рисунок 1 – Поверхность и поперечный срез образца № 5 с гидрофильной мембраной



в композит слоев. Общая толщина материалов от 0,13 мм до 0,26 мм, поверхностная плотность – от 98 г/м<sup>2</sup> до 160 г/м<sup>2</sup>.

Исследование водопаропроницаемости материалов проводили в лаборатории кафедры технического регулирования и товароведения Витебского государственного технологического университета по ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Стандартный метод реализован с помощью устройства, описанного в [2] и установленного в климатической камере УТН-408-40-1Р (Tuantaо, Китай). Устройство позволяет придать столику с установленными на нем стаканчиками с образцами равномерное вращательное движение для создания постоянного потока воздуха над поверхностью образцов. В соответствии со стандартной методикой соблюдали следующие условия эксперимента: расстояние от глади воды до внутренней поверхности образца 1 см, площадь экспонируемой поверхности образца 0,00053 м<sup>2</sup>, температура 20±2 °С, влажность 65±5 %, время испытания 4 часа. Взвешивание стаканчиков с водой и образцами до и по-

сле четырехчасового периода размещения в контролируемых условиях проводили на аналитических электронных весах РА 214 С («ОНАУС Corporation», США), класс точности I. Коэффициент водопаропроницаемости ( $K$ , г/(м<sup>2</sup>·24 ч)) рассчитывали исходя из значения массы воды, испарившейся из стаканчика через площадь экспонируемой поверхности образца за 4 часа.

Исследуемый показатель водопаропроницаемости должен составлять от 360 г/(м<sup>2</sup>·24 ч) (для съемных изделий кратковременного использования в сочетании с рабочей одеждой и одеждой для активного отдыха) до 560 г/(м<sup>2</sup>·24 ч) (для верха рабочей одежды, предназначенной для продолжительной активности в тяжелых условиях). Как видно по результатам исследования, все образцы исследуемых водонепроницаемых материалов соответствуют требованиям ГОСТ Р 57514-2017 по данному показателю.

Результаты исследования свойств проницаемости образцов материалов представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод, что при внешней схожести наблюдаемых

Таблица 2 – Результаты исследования свойств образцов материалов

Номер образца	Коэффициент массопроводности полимера мембраны, г/(м·с·мм рт. ст.)	Коэффициент водопаропроницаемости, $K$ , г/(м <sup>2</sup> ·24 ч)
образцы с гидрофильной мембраной		
1	0,0009	689
2	0,0005	638
3	0,0019	916
4	0,0009	580
5	0,0001	624
образцы с гидрофобной мембраной		
6	0,0031	1415
7	0,0004	711
8	0,0006	804
9	0,0018	998
10	0,0002	560
11	0,0001	535
образец с комбинированной мембраной		
12	0,0007	746



в микроскоп структур образцов, объединенных в группы по принципу гидрофильности и гидрофобности мембран, материалы характеризуются различными по величине коэффициентами массопроводности. Средний коэффициент водопаропроницаемости образцов с гидрофильной мембраной составляет  $689 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч})$ , с гидрофобной –  $837 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч})$ . Образец с комбинированной мембраной показал промежуточный уровень водопаропроницаемости. Образцы, существенно различающиеся по толщине, имеют схожие значения водопаропроницаемости, например, как в случае сравнения образцов № 1 и № 2. И наоборот, у схожих по толщине материалов, как в случае образцов № 6 и № 7, значения водопаропроницаемости отличаются на порядок.

На рисунке 4 представлена зависимость водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур от коэффициента массопроводности полимера мембраны, полученная по результатам эксперимента.

Рисунок 4 показывает, что при анализе достаточно большого числа образцов в относительно

широком диапазоне водопаропроницаемости наблюдается линейная ее зависимость от коэффициента массопроводности полимера мембраны. Это означает, что ведущую роль в свойстве водопаропроницаемости мембранных водозащитных материалов играет именно мембрана, а не текстильный слой.

Корреляционный анализ позволил установить, что наибольшее влияние на показатель водопаропроницаемости оказывают коэффициент массопроводности ( $k = 0,937$ ) и отношение коэффициента массопроводности мембраны к общей толщине комплексного материала ( $k = 0,883$ ), то есть гипотеза, предложенная в начале исследования, подтвердилась, и результаты эксперимента не противоречат выводам Т.И. Чалых и других исследователей. Для мембранных водозащитных материалов, содержащих пористую мембрану и имеющих схожие характеристики пористости мембранного слоя, оцениваемые уровнем водонепроницаемости, независимо от типа полимера справедливо утверждение, что их водопаропроницаемость линейно зависит от коэффициента массопровод-

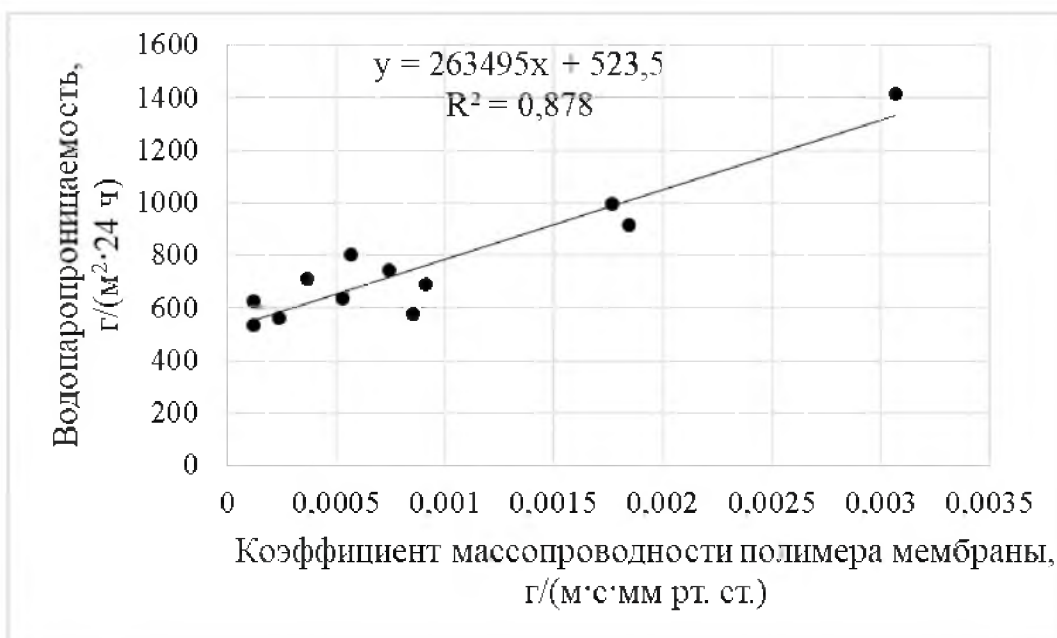


Рисунок 4 – Зависимость водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур от коэффициента массопроводности полимера мембраны

ности мембраны, входящей в состав материала, и линейно зависит от соотношения коэффициента массопроводности мембраны и толщин слоев материала. То есть доля толщины мембраны в общей толщине материала в паре с коэффициентом массопроводности мембраны определяют способность комплексного мембранного водонепроницаемого материала пропускать через себя пары воды.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буркин, А. Н., Панкевич, Д. К. (2020), *Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов*, Витебск, УО «ВГТУ», 2020, 190 с.
2. ГОСТ Р 57514-2017. *Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия*, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
3. Светлов, Ю. В. (2004), Метод расчетного анализа массообменных процессов в обуви, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2004, № 1, С. 45–47.
4. Чалых, Т. И. (2000), *Структура и влагообменные свойства пористых полимерных материалов*: автореф. дис. ... д-ра хим. наук, ГУП ЦНИИ-ПИК, Москва, 55 с.
5. Куличенко, А. В. (2002), Прогнозирование, моделирование проницаемости текстильных материалов различных структур, *Материалы II международной научно-практической конференции «Материаловедение-2002»*, Черкизово, 2002, С. 129–135.
6. Rodicheva, M., Abramov, A., Kanatnikov, N., Kanatnikova, P. (2017), Advanced Technique and the Results of a Research of a Heat-Mass-Exchange Processes in Clothes Packages in the Subnormal Climate, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 66, pp. 1–8.

## REFERENCES

1. Burkin, A. N., Pankevich, D. K. (2020), *Gigienicheskie svojstva membrannyh tekstil'nyh materialov* [Hygienic properties of membrane textile materials], Vitebsk, EI «VSTU», 2020, 190 p.
2. GOST R 57514-2017. *Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions*, vved. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24 p.
3. Svetlov, Y. V. (2004), Method of calculation analysis of mass exchange processes in footwear [Metod raschetnogo analiza massoobmennyyh processov v obuvi], *Leather and Footwear Industry*, 2004, № 1, pp. 45–47.
4. Chalykh, T. I. (2000), *Struktura i vlogoobmennyye svojstva poristyh polimernykh materialov*: avtoref. dis. ... d-ra him. nauk [Structure and moisture-exchange properties of porous polymeric materials: abstract of Dr. Sci. D. in Chemistry], GUP TsNIIPIK, Moscow, 55 p.
5. Kulichenko, A. V. (2002), Prediction, modeling of permeability of textile materials of different structures [Prognozirovanie, modelirovanie pronicaemosti tekstil'nyh materialov razlichnyh struktur], *Proceedings of II International Scientific-Practical Conference "Material Science-2002"*, Cherkizovo, 2002, pp. 129–135.
6. Rodicheva, M., Abramov, A., Kanatnikov, N., Kanatnikova, P. (2017), Advanced Technique

7. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
8. Tehrani-Bagha, A. R. (2019), Waterproof breathable layers – A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2019, Vol. 268, pp. 114–135.
9. Mukhopadhyay, A., Midha, V. K. (2008), A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, Vol. 37, pp. 225–262.
10. Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Pacevičienė, V., Mickus, K. V. (2007), Investigation of Water Vapour Resorption, *Desorption of Textile Laminates Materials Science*, 2007, Vol. 13 (3), pp. 255–261.
11. Вершинина, А. В., Кирсанова, Е. А., Павлов, М. А. (2017), Оценка кинетики температуры и влажности в пододежном пространстве многослойной детской одежды, *Дизайн и технологии*, 2017, № 62 (104), С. 67–74.
12. Eryuruk, S. H. (2019), Effect of fabric layers on thermal comfort properties of multilayered thermal protective fabrics, *Autex Research Journal*, 2019, Vol. 19, № 3, pp. 271–278.
13. Панкевич, Д. К. (2021), Взаимосвязь структуры и паропроницаемости водонепроницаемых «дышащих» мембранных материалов, *материалы V Міжнародна науково-практична конференція текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion*, Киев, 2021, С. 107–109/
14. Ивашко, Е. И., Панкевич, Д. К. (2020), Исследование структуры композиционных текстильных материалов гидростатическим прибором, *Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий»*, Кострома, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», 2020, С. 118–122.
7. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
8. Tehrani-Bagha, A. R. (2019), Waterproof breathable layers – A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2019, Vol. 268, pp. 114–135.
9. Mukhopadhyay, A., Midha, V. K. (2008), A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, Vol. 37, pp. 225–262.
10. Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Pacevičienė, V., Mickus, K. V. (2007), Investigation of Water Vapour Resorption, *Desorption of Textile Laminates Materials Science*, 2007, Vol. 13 (3), pp. 255–261.
11. Vershinina, A. V., Kirsanova, E. A., Pavlov, M. A. (2017), Evaluation of temperature and moisture kinetics in the underwire space of layered children's clothing [Оценка кинетики температуры и влажности в пододежном пространстве многослойной детской одежды], *Design and Technology*, 2017, № 62 (104), pp. 67–74.
12. Eryuruk, S. H. (2019), Effect of fabric layers on thermal comfort properties of multilayered thermal protective fabrics, *Autex Research Journal*, 2019, Vol. 19, № 3, pp. 271–278.
13. Pankevich, D. K. (2021), Relationship between structure and vapor permeability of waterproof "breathable" membrane materials [Vzaimosvyaz' struktury i paropronicaemosti vodonepronaemyh «dyshashchih» membran-nyh materialov], *Proceedings of V International Scientific and Practical Conference of Textile and Fashion Technologies KyivTex&Fashion*, Kiev, 2021, pp. 107–109.

14. Ivashko, E. I., Pankevich, D. K. (2020), The study of the structure of composite textile materials with a hydrostatic device [Issledovanie struktury kompozicionnyh tekstil'nyh materialov gidrostaticheskim priborom], *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Scientific research and development in the field of design and technology"*, Kostroma, Kostroma State University, 2020, pp. 118–122.

*Статья поступила в редакцию 18. 04. 2022 г.*