

МРНТИ 64.33.09

А.Ж. Талгатбекова¹ – основной автор, | ©
А.А. Бугенова², О.В. Григорьева³, К.А. Зулхарнаева⁴



¹Кан. техн. наук, ассоц. профессор, зав. кафедрой, ²Магистр, ³Сеньор-
лектор, ⁴Магистр, сеньор- лектор

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-4041-4545> ²<https://orcid.org/0009-0003-9612-8745>
³<https://orcid.org/0000-0003-1615-8606> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-1040-2006>



^{1,2,3,4}Алматинский технологический университет,



Алматы, Казахстан



¹takmarzhan18@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/GPWS9483>

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЕРХНЕЙ ОДЕЖДЫ ТУРИСТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ

Аннотация. В статье исследуется влияние типа полимерного покрытия на эксплуатационные свойства текстильных материалов, применяемых в одежде для горных видов спорта и туризма. Рассмотрены синтетические ткани с различными пленочными покрытиями: гидрофильные непористые и гидрофобные микропористые мембраны. Проведена оценка водонепроницаемости методом дождевания и воздухопроницаемости тканей. Показано, что пленочные покрытия на основе ПВХ и полиуретана обеспечивают высокую водоупорность, но снижают воздухопроницаемость, что ограничивает комфорт при активной эксплуатации. Материалы с микропористыми мембранами ePTFE и TPU демонстрируют более сбалансированное сочетание водонепроницаемости и воздухопроницаемости, обеспечивая защиту от влаги при поддержании гигиенического комфорта. Полученные результаты позволяют делать обоснованный выбор материалов для верхней одежды туристов и спортсменов, ориентируясь на условия эксплуатации и требования к функциональности изделий.

Ключевые слова: outdoor-одежда, мембранные ткани, водонепроницаемость, воздухопроницаемость, функциональные покрытия, ePTFE-мембрана, полиуретановое покрытие.



Талгатбекова, А.Ж. Оптимизация выбора материалов для верхней одежды туристов на основе анализа физико-механических свойств тканей [Текст] / А.Ж. Талгатбекова, А.А. Бугенова, О.В. Григорьева, К.А. Зулхарнаева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №3(93). – С.230-238. <https://doi.org/10.55956/GPWS9483>

Введение. На сегодняшний день спортивно-оздоровительный туризм в горах является одним из наиболее популярных направлений в Казахстане, при этом горная среда предъявляет повышенные требования к экипировке. При проектировании одежды для горных видов спорта необходимо обеспечивать защиту от дождя, снега и ветра, а также комфорт при эксплуатации изделий [1,2]. В связи с этим производители outdoor-одежды активно применяют гидрофильные непористые мембраны и гидрофобные микропористые

мембраны. Гидрофильные мембраны препятствуют проникновению воды, тогда как микропористые помимо водонепроницаемости обладают оптимальным размером пор для вывода водяного пара [3]. Покрытия выполняются на основе полимеров: полиуретана (PU), термополиуретана (TPU), политетрафторэтилена (PTFE), поливинилхлорида (ПВХ) и др. [4].

Несмотря на широкое применение таких материалов, влияние типа покрытия на совокупность физико-механических свойств тканей остается недостаточно изученным, поскольку большинство работ рассматривает отдельные виды покрытий без их комплексной оценки. В работе проведен сравнительный анализ водонепроницаемости и воздухопроницаемости с полимерным покрытием с целью определения оптимального сочетания защитных и эксплуатационных характеристик, чем определяет новизну исследования.

Условия и методы исследований. Объектами исследования стали следующие группы материалов: ткань с пленочным матовым покрытием (ПВХ), ткань Oxford с полиуретановым покрытием, мембранная ткань микро Rip-stop (TPU), плащевая ткань с гидрофильным покрытием, мембранная ткань Navi (микропористая ePTFE).

Каждый образец характеризуется качественными параметрами (тип волокна, назначение, структура, переплетения, тип покрытия) и количественными показателями (поверхностная плотность, водонепроницаемость, воздухопроницаемость) [5].

Использованы методы определения воздухопроницаемости по ГОСТ ISO 9237-2013 [6] и ГОСТ 12088-77 [7], испытание на водоупорность ISO 4920 [8], а также математическая обработка экспериментальных данных и сравнительный анализ.

Все испытания выполняются на приборах: прибор для измерения водонепроницаемости, прибор для определения воздухопроницаемости.

Предполагается, что покрытие оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства тканей: пленочные покрытия повышают водоупорность; но могут снизить воздухопроницаемость. Мембранные материалы же обеспечивают баланс защитных характеристик и комфорта.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуются 5 образцов тканей, представленных на рынке, каждый образец представляет собой различные вариации материалов с пленочным покрытием (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики образцов

№ п/п	Наименование материала	Волокнистый состав	Поверхностная плотность гр/м ²	Вид пленочного покрытия	Состав покрытия	Вид переплетения	Страна производитель
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ткань с матовым покрытием	60% нейлон, 40% п/э	150	гидрофильное	ПВХ (поливинилхлорид)	Плотняное	КНР

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Ткань Оксфорд	100% п/э	270	гидро- фильное	PU (полиуретан)	Рогожка	Южная Корея
3	Мембранная ткань микро рип-стоп	100% п/э	200	микро- пористое	PTFE (политетраф торэтилен)	Саржевое	КНР
4	Плащевая ткань	Полиамид 100%	100	гидро- фильное	PU (полиуретан)	Рогожка	КНР
5	Ткань мембранная NAVI	100% п/э	180	микро- пористое	TPU (термо- пластичный полиуретан)	Рогожка	КНР

Водонепроницаемость исследовалась методом распыления для оценки смачивания поверхности ткани в соответствии с ISO 4920 [8]. Испытания проведены на тестере рейтинга распыления МТ-032 по методике ААТСС 22. Подготовлено по три образца размером 220 мм на 220 мм, закрепленные в кольце диаметром 152,4 мм в натянутом состоянии без складок.

На поверхность образца подавали 250 мл дистиллированной воды через стандартную форсунку, расположенную под углом 45° на расстоянии 150 мм; продолжительность орошения составляла 25-30 с. После испытания образец встряхивали и визуально оценивали степень смачивания, сопоставляя полученную картину с эталонной шкалой (рис. 1) с присвоением соответствующего балла [9].

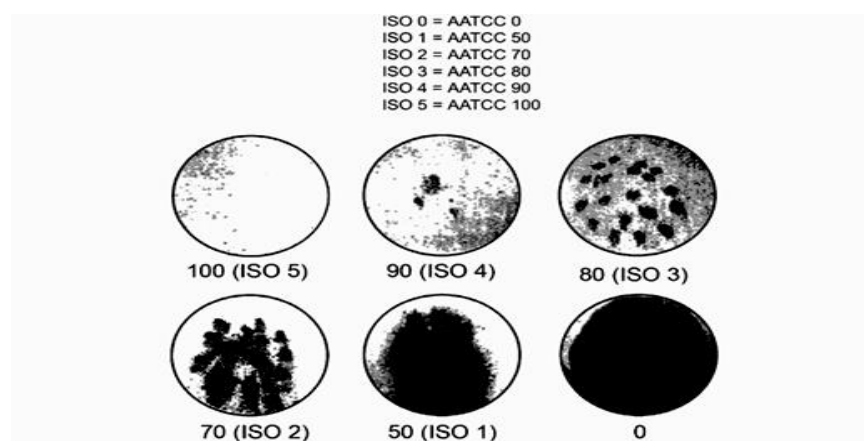


Рис. 1. Фотографическая эталонная шкала ISO

Следуя указаниям, были проведены испытания, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка водостойкости тканей

Номер образца	Уровень ISO	Уровень AATCC	Изображение образца
Образец 1	100	5	
Образец 2	90	4	
Образец 3	90	4	
Образец 4	90	4	
Образец 5	90	4	

Полученные экспериментальные данные подтверждают тенденции, ранее описанные в исследованиях водоупорных и мембранных материалов. Различия в поведении тканей с различными типами покрытий согласуется с работами, подчеркивающими роль структуры покрытия и пористой природы мембран в обеспечении гидрофобности и барьерных свойств.

Ткань с матовым ПВХ-покрытием продемонстрировала высокую устойчивость к смачиванию: вода не проникла в материал, что соответствует данными Панкевич и соавт. [10], где отмечается, что полимерные пленочные покрытия (ПВХ, PU) формируют практически сплошной водный барьер за счет отсутствия пористой структуры. Аналогичный механизм характерен для типа тканей Oxford и плащевых материалов с гидрофильным покрытием, работающих по принципу диффузионного переноса влаги [11,12]; их водоупорность достаточна для бытовых условий, но уступает мембранам ePTFE и TPU.

Образец 3 также показал отсутствие смачивания при воздействии воды, что согласуется с данными о высокой гидрофобности микропористых ePTFE-мембран [13,14]. В целом результаты подтверждают, что пленочные покрытия (ПВХ, PU) и мембранные материалы (TPU, ePTFE) обеспечивают высокий уровень водоупорности в пределах, описанных в литературе.

Следующим исследуемым показателем является воздухопроницаемость, оказывающая существенное влияние на гигиенические и эксплуатационные свойства изделий. Воздухопроницаемость измерялась с помощью прибора МТ 160. Пробы отбирают по всей ширине ткани длиной 16 см от любого места, но не от самого его конца. Стандартно берутся образцы площадью 5 см², 10 см², 20 см², 50 см². В данном случае площадь образцов равна 10 см². Исключены материалы с заломами, глажение их не допускается.

Испытания на воздухопроницаемость проводились при перепаде давления 50 Па, что соответствует требованиям ГОСТ 12088-77 и ISO 9237-2013 [6,7]. Результаты, полученные в ходе испытаний записаны в табличной форме (табл. 3).

Дабы вычислить показатель используется формула 1, где воздухопроницаемость A_p выражается через объем воздуха V_p , прошедший через поверхность образца за время t . Показатель рассчитывается как отношение объема пропущенного воздуха (в дм^3) к площади образца и длительности измерения (с).

$$A_p = \frac{V_p}{S \cdot t} \quad (1)$$

где: V_p – объем воздуха в дм^3 (литрах); S – площадь образца в м^2 (для 10×10 см, $S = 0,01 \text{ м}^2$); t – время в секундах.

Таблица 3

Результаты проведения испытаний по определению воздухопроницаемости

Наименование ткани	№ образца	Объем прошедшего воздуха V_p , дм^3	Время измерения, с	Воздухопроницаемость A_p , $\text{дм}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с}$	Среднее значение A_p , $\text{дм}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с}$
Ткань с матовым покрытием	1	2,5	30	8,33	8,0
	2	2,4		8,00	
	3	2,3		7,67	
	4	2,4		8,00	
Ткань Оксфорд	1	3,0	30	10,00	9,67
	2	3,0		10,00	
	3	2,7		9,00	
	4	2,9		9,67	
Мембранная ткань микро рип-стоп	1	2,9	30	9,67	10,25
	2	3,2		10,67	
	3	3,1		10,33	
	4	3,1		10,33	
Плащевая ткань	1	2,8	30	9,33	9,58
	2	3,1		10,33	
	3	2,7		9,00	
	4	2,9		9,67	
Ткань мембранная NAVI	1	3,3	30	11,00	11,5
	2	3,4		11,33	
	3	3,4		11,33	
	4	3,4		11,33	

Результаты испытаний показали, что исследуемые ткани значительно различаются по показателю воздухопроницаемости, что обусловлено их структурой, типом переплетения и наличием защитных покрытий [15,16].

Из таблицы (табл. 3) видно, что наименьшее значение воздухопроницаемости наблюдается у ткани с матовым плёночным покрытием (среднее значение $8,0 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$), что связано с наличием плотного полимерного слоя, препятствующего прохождению воздуха.

Наиболее высокие значения воздухопроницаемости выявлены у мембранной ткани NAVI, где показатель A_p составляет $11,5 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и мембранной ткани микро рип-стоп с показателем равным $10,25 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$, что свидетельствует о сбалансированных свойствах: способность пропускать воздух при сохранении водоупорности [17].

Ткани Oxford и плащевая ткань образуют средний диапазон воздухопроницаемости (примерно $9,58\text{-}9,67 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$), что соответствует

выводам в работе Hong, K.A., (2019): покрытия уменьшают воздухопроницаемость, но сохраняют паропроницаемость [18].

Наименьшие показатели воздухопроницаемости характерны для ткани с матовым пленочным покрытием – около $8,0 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Пленочный слой значительно снижает воздухопроницаемость, что отражено стабильно низкими значениями.

Полученные данные подтверждают, что степень воздухопроницаемости зависит не только от таких факторов как структура, плотность, тип переплетений. А также видом покрытия: материалы с мембранами обеспечивают защиту от влаги при допустимом уровне воздухопроницаемости.

Проведенный анализ показал, что тип полимерного покрытия оказывает определяющее влияние на эксплуатационные свойства тканей. Пленочные покрытия (полиуретан и ПВХ) формируют практически сплошной барьер, обеспечивая высокую водонепроницаемость, однако значительно снижают воздухопроницаемость, что может ограничивать комфорт при длительном ношении изделий в условиях активного туризма. Мембранные материалы (TPU и ePTFE) демонстрируют оптимальное сочетание водонепроницаемости и воздухопроницаемости, что подтверждает их эффективность для применения в outdoor-одежде. Полученные результаты позволяют формировать практические рекомендации по подбору тканей в зависимости от условий эксплуатации: для интенсивных нагрузок и активного движения предпочтительны ткани с гидрофобным микропористым покрытием.

Заключение. Проведенный анализ экспериментальных данных подтверждает существенное влияние функционального покрытия на эксплуатационные свойства текстильных материалов. Установлено, что увеличение гидрофобности и плотности покрытия сопровождается снижением воздухопроницаемости тканей, что наиболее характерно для материалов со сплошным полиуретановым покрытием, формирующими барьерный слой. В то же время ткани на основе микропористых ePTFE-мембран демонстрируют более сбалансированное сочетание показателей благодаря высокой диффузионной способности микропор [16].

Наиболее сбалансированные показатели по совокупности параметров – продемонстрировали мембранные ткани с ePTFE- и TPU-покрытиями, что подтверждает выдвинутую гипотезу о влиянии покрытий на эксплуатационные характеристики. В дальнейшем целесообразно изучить долговечность и износостойкость мембранных материалов в реальных условиях эксплуатации, а также рассмотреть влияние материалов в составе многослойного пакета на комфорт и защитные свойства изделий.

Список литературы

1. Kanjana S., Nalankilli G. Smart, Waterproof, Breathable Sportswear – A Review // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management (JTATM). – 2017. – Vol. 3, No. 5. – P. 591–600.
2. Нурымбетова, К.А. Исследование особенностей проектирования одежды для горнолыжников [Текст] / К.А. Нурымбетова, А.Ж. Талгатбекова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2014. – № 3. – С. 18–21.
3. Hae W.A., Chung H.P., Seung E.C. Waterproof and breathable properties of nanoweb applied clothing // Textile Research Journal. – 2011. – Vol. 81, No. 14. – P. 1438–1447. – DOI: 10.1177/0040517510392462.

4. Chang Y., Liu F. Review of Waterproof Breathable Membranes: Preparation, Performance and Applications in the Textile Field // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 15. – Art. 5339. – DOI: 10.3390/ma16155339.
5. Самсонова, И.Г. Свойства материалов [Текст]: учебное пособие / И.Г. Самсонова. – Челябинск : Издательство ЗАО «Библиотека Миллера», 2018. – 31 с.
6. ГОСТ ISO 9237-2013. Материалы текстильные. Метод определения воздухопроницаемости [Текст]. – Введ. 2014-01-07. – М. : Стандартинформ, 2016. – 7 с.
7. ГОСТ 12088-77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости [Текст]. – Введ. 1979-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1979. – 9 с.
8. ГОСТ ISO 4920-2021. Материалы текстильные. Определение устойчивости к поверхностному смачиванию (метод испытания разбрызгиванием) [Текст]. – Введ. 2025-06-01. – М. : Российский институт стандартизации, 2024. – 7 с.
9. Испытание ткани на водонепроницаемость: проникновение воды и смачивание поверхности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testtextile.com/ru/water-resistance-test-of-fabric-water-penetration-and-surface-wetting/>. – Дата обращения: 20.01.2026.
10. Панкевич Д.К., Буркин А.Н., Леонов В.В. Оценка водозащитных свойств мембранных материалов для изделий легкой промышленности // *Костюмология*. – 2022. – Т. 7. – № 1.
11. Ren Y.J., Ruckman J.E. Condensation in three-layer waterproof breathable fabrics for clothing // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2004. – Vol. 16, No. 3. – P. 335–347. – DOI: 10.1108/09556220410527255.
12. Siddique A., Fatima N., Liu S., Zahir A., Chan C.K., Xu Z., Ashraf M. Development of Breathable Waterproof Polyurethane-Coated Cotton Fabric Using Surfactant // *ACS Omega*. – 2025. – Vol. 10, No. 39. – P. 44913–44921. – DOI: 10.1021/acsomega.5c01410.
13. Zhao J., Zhang T., Li Y., Huang L., Tang Y. Fluorine-Free, Highly Durable Waterproof and Breathable Fibrous Membrane with Self-Clean Performance // *Nanomaterials*. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – Art. 516. – DOI: 10.3390/nano13030516.
14. Guo Q., Huang Y., Xu M., Huang Q. PTFE porous membrane technology: A comprehensive review // *Journal of Membrane Science*. – 2022. – Vol. 664. – Art. 121115. – DOI: 10.1016/j.memsci.2022.121115.
15. Li X., Wang X.-X., Yue T.-T., Xu Y., Zhao M.-L., Yu M., Ramakrishna S., Long Y.-Z. Waterproof-breathable PTFE nano- and microfiber membrane as high efficiency PM2.5 filter // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, No. 4. – Art. 590. – DOI: 10.3390/polym11040590.
16. Mukhopadhyay A., Midha V.K. Air permeability of woven fabrics // *Journal of Industrial Textiles*. – 2008. – Vol. 38, No. 1. – P. 45–58. – DOI: 10.1177/1528083707083009.
17. Matsudaira M., Qin C. Effects of yarn and fabric structural factors on air permeability and moisture transport // *Textile Research Journal*. – 1995. – Vol. 65, No. 11. – P. 653–658. – DOI: 10.1177/004051759506501106.
18. Hong K.A., Yoo H.S., Kim E. Effect of waterborne polyurethane coating on the durability and breathable waterproofing of electrospun nanofiber web-laminated fabrics // *Fibers and Polymers*. – 2019. – Vol. 20, No. 2. – P. 242–246. – DOI: 10.1007/s12221-019-9396-2.

Материал поступил в редакцию 14.02.26, принят 15.06.26.

А.Ж. Талгатбекова¹, А.А. Бугенова¹, О.В. Григорьева¹, К.А. Зулхарнаева¹

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

**ТУРИСТЕРГЕ АРНАЛҒАН СЫРТҚЫ КИІМГЕ МАТЕРИАЛДАРДЫ ТАҢДАУЫ ТОҚЫМА
МАТАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ
ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

Аннотация. Мақалада полимерлі жабын түрінің таулы спорт және туризмге арналған киімдерде қолданылатын тоқыма материалдарының эксплуатациялық қасиеттеріне әсері зерттелген. Әртүрлі пленкалы жабындары бар синтетикалық маталар қарастырылды: гидрофильді кеуексіз және гидрофобты микропорлы мембраналар. Маталардың су өткізбейтіндігі жаңбырлау әдісімен және ауа өткізгіштігі бағаланды. ПВХ және полиуретан негізіндегі пленкалы жабындар жоғары суға төзімділікті қамтамасыз етеді, бірақ ауа өткізгіштікті төмендетіп, белсенді қолдану кезінде жайлылықты шектейді. ePTFE және TPU микропорлы мембраналары бар материалдар суға төзімділік пен ауа өткізгіштіктің теңгерімді үйлесімін көрсетеді, бұл ылғалдан қорғануды қамтамасыз ете отырып, гигиеналық жайлылықты сақтайды. Алынған нәтижелер туристер мен спортшыларға арналған сыртқы киім материалдарын пайдалану жағдайлары мен функционалдық талаптарға сәйкес таңдауға мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: тау түзіміне арналған киім, мембраналық маталар, су жұқтырмаушылық, ауа өткізгіштік, функционалдық жабындар, ePTFE мембранасы, полиуретан жабыны.

A.Zh. Talgatbekova¹, A.A. Bugenova¹, O.V. Grigoryeva¹, K.A. Zulkharnayeva¹

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

**OPTIMISATION OF MATERIAL SELECTION FOR OUTDOOR CLOTHING BASED ON THE
ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TEXTILE FABRICS**

Abstract. The article investigates the influence of polymer coating type on the performance properties of textile materials used in clothing for mountain sports and tourism. Synthetic fabrics with various film coatings were examined, including hydrophilic non-porous and hydrophobic microporous membranes. The water resistance of the fabrics was assessed using the spray test, and air permeability was evaluated. PVC- and polyurethane-based film coatings provide high water resistance but reduce air permeability, limiting comfort during active use. Materials with microporous ePTFE and TPU membranes demonstrate a more balanced combination of water resistance and air permeability, ensuring protection from moisture while maintaining hygienic comfort. The results allow for an informed selection of materials for outdoor clothing for tourists and athletes, based on usage conditions and functional requirements.

Keywords: outdoor clothing, membrane fabrics, water repellency, air permeability, functional coatings, ePTFE membrane, polyurethane coating.

References

1. Kanjana S., Nalankilli G. Smart, Waterproof, Breathable Sportswear – A Review // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management (JTATM). – 2017. – Vol. 3, No. 5. – P. 591–600.
2. Nurimbetova K.A., Talgatbekova A.Zh. Issledovanie osobennostey proektirovaniya odezhdy dlya gornolyzhnikov [Study of the design features of clothing for skiers] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2014. – No. 3. – P. 18–21. [in Russian].

3. Hae W.A., Chung H.P., Seung E.C. Waterproof and breathable properties of nanoweb applied clothing // *Textile Research Journal*. – 2011. – Vol. 81, No. 14. – P. 1438–1447. – DOI: 10.1177/0040517510392462.
4. Chang Y., Liu F. Review of Waterproof Breathable Membranes: Preparation, Performance and Applications in the Textile Field // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 15. – Art. 5339. – DOI: 10.3390/ma16155339.
5. Samsonova I.G. *Svoystva materialov [Properties of materials] : uchebnoe posobie [study guide]*. – Chelyabinsk: Izdatel'stvo ZAO «Biblioteka Millera», 2018. – 31 p. [in Russian].
6. GOST ISO 9237-2013. *Materialy tekstil'nye. Metod opredeleniya vozdukhopronitsaemosti [Textiles. Determination of permeability of fabrics to air]*. – Introduced 07.01.2014. – Moscow: Standartinform, 2016. – 7 p. [in Russian].
7. GOST 12088-77. *Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nikh. Metod opredeleniya vozdukhopronitsaemosti [Textiles and textile products. Method for determination of air permeability]*. – Introduced 01.01.1979. – Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 1979. – 9 p. [in Russian].
8. GOST ISO 4920-2021. *Materialy tekstil'nye. Opredelenie ustoychivosti k poverkhnostnomu smachivaniyu (metod ispytaniya razbryzgivaniem) [Textiles. Determination of resistance to surface wetting (spray test)]*. – Introduced 01.06.2025. – Moscow: Russian Institute for Standardization, 2024. – 7 p. [in Russian].
9. *Ispytanie tkani na vodonepronitsaemost': proniknovenie vody i smachivanie poverkhnosti [Water resistance test of fabric: water penetration and surface wetting]* [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.testtextile.com/ru/water-resistance-test-of-fabric-water-penetration-and-surface-wetting/>. – Access date: 20.01.2026. [in Russian].
10. Pankevich D.K., Burkin A.N., Leonov V.V. Otsenka vodozashchitnykh svoystv membrannykh materialov dlya izdeliy legkoy promyshlennosti [Evaluation of water-protective properties of membrane materials for light industry products] // *Costumology*. – 2022. – Vol. 7, No. 1. [in Russian].
11. Ren Y.J., Ruckman J.E. Condensation in three-layer waterproof breathable fabrics for clothing // *International Journal of Clothing Science and Technology*. – 2004. – Vol. 16, No. 3. – P. 335–347. – DOI: 10.1108/09556220410527255.
12. Siddique A., Fatima N., Liu S., Zahir A., Chan C.K., Xu Z., Ashraf M. Development of Breathable Waterproof Polyurethane-Coated Cotton Fabric Using Surfactant // *ACS Omega*. – 2025. – Vol. 10, No. 39. – P. 44913–44921. – DOI: 10.1021/acsomega.5c01410.
13. Zhao J., Zhang T., Li Y., Huang L., Tang Y. Fluorine-Free, Highly Durable Waterproof and Breathable Fibrous Membrane with Self-Clean Performance // *Nanomaterials*. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – Art. 516. – DOI: 10.3390/nano13030516.
14. Guo Q., Huang Y., Xu M., Huang Q. PTFE porous membrane technology: A comprehensive review // *Journal of Membrane Science*. – 2022. – Vol. 664. – Art. 121115. – DOI: 10.1016/j.memsci.2022.121115.
15. Li X., Wang X.-X., Yue T.-T., Xu Y., Zhao M.-L., Yu M., Ramakrishna S., Long Y.-Z. Waterproof-breathable PTFE nano- and microfiber membrane as high efficiency PM2.5 filter // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, No. 4. – Art. 590. – DOI: 10.3390/polym11040590.
16. Mukhopadhyay A., Midha V.K. Air permeability of woven fabrics // *Journal of Industrial Textiles*. – 2008. – Vol. 38, No. 1. – P. 45–58. – DOI: 10.1177/1528083707083009.
17. Matsudaira M., Qin C. Effects of yarn and fabric structural factors on air permeability and moisture transport // *Textile Research Journal*. – 1995. – Vol. 65, No. 11. – P. 653–658. – DOI: 10.1177/004051759506501106.
18. Hong K.A., Yoo H.S., Kim E. Effect of waterborne polyurethane coating on the durability and breathable waterproofing of electrospun nanofiber web-laminated fabrics // *Fibers and Polymers*. – 2019. – Vol. 20, No. 2. – P. 242–246. – DOI: 10.1007/s12221-019-9396-2.