Научная статья
УДК 678.174:677.017
EDN RLCPYV
https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-3-73-31-36
Айдар Рустемович Гарафиев[1]
Наталья Васильевна Тихонова[2]
[1,2] Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия
[1] garafievajdar@gmail.com; https://orcid.org/0009-0001-2865-2460
[2] nata.tikhonova.81@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2241-869X

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРИСТОСТИ И УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОСНОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ТИПА

Аннотация. *В статье представлены результаты оценки пористости и удельной поверхности текстильных основ, предназначенных для внутреннего слоя пакета материалов защитной одежды фильтрующего типа. Обоснована актуальность выбора натуральных текстильных основ для обеспечения влагообмена, воздухопроницаемости и физиологического комфорта ликвидаторов аварий. В качестве объектов анализа использованы саржа, брезент, а также натуральные материалы марок Молескин С-159 ЮГ, Молескин С-174 ЮГ. Объектами сравнения выступали промышленные аналоги марок ММС-Т, Форм, ХЗМ, Митрон. Оценка выполнена методами Брунауэра – Эммета – Теллера и Барретта – Джойнера – Халенды. Установлено, что Молескин С-174 ЮГ имеет максимальный объем пор, а саржа отличается наилучшим сочетанием значений характеристик удельной поверхности, объема и размера пор. Полученные результаты позволяют рекомендовать данные материалы для внутреннего слоя защитной одежды фильтрующего типа.*
Ключевые слова: *пористость, удельная поверхность, текстильная основа, защитная одежда, пакет материалов, молескин, саржа*

Для цитирования: Гарафиев А. Р., Тихонова Н. В. Характеристики пористости и удельной поверхности текстильных основ для защитной одежды фильтрующего типа // Технологии и качество. 2026. № 3(73). С. 31–36. https://doi.org/ 10.34216/2587-6147-2026-3-73-31-36.

Original article
Aidar R. Garafiev[1]
Natalia V. Tikhonova[2]
[1,2] Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

CHARACTERISTICS OF POROSITY AND SPECIFIC SURFACE AREA OF TEXTILE BASES FOR FILTER-TYPE PROTECTIVE CLOTHING

Abstract. *The article presents the results of an assessment of the porosity and specific surface area of textile bases intended for the inner layer of a package of filtering protective clothing materials. The relevance of choosing natural textile bases for ensuring moisture exchange, air permeability, and physiological comfort of emergency responders is substantiated. Twill, tarpaulin, and natural materials of the Moleskine S-159 YUG and Moleskine S-174 YUG brands were used as objects of analysis. Industrial analogues of the MMS-T, Form, HZM, and Mitron brands served as objects of comparison. The assessment was performed using the Brunauer-Emmett-Teller and Barrett-Joyner-Halenda methods. It was found that Moleskine S-174 YUG has a maximum pore volume, while twill has the best combination of specific surface area, volume, and pore size characteristics. The obtained results allow us to recommend these materials for the inner layer of filtering protective clothing.*
Keywords: *porosity, specific surface area, textile base, protective clothing, material package, moleskin, twill*

For citation: Garafiev A. R., Tikhonova N. V. Characteristics of porosity and specific surface area of textile bases for filter-type protective clothing. Technologies & Quality. 2026. No 3(73). P. 31–36. (In Russ.) https://doi.org/ 10.34216/2587-6147-2026-3-73-31-36.

© Гарафиев А. Р., Тихонова Н. В., 2026

Актуальность совершенствования состава пакетов материалов защитной одежды обусловлена сохраняющейся угрозой чрезвычайных ситуаций на химических и нефтехимических производствах, в ходе которых высвобождающиеся вредные вещества воздействуют в газообразной, паровой и мелкодисперсной формах на кожу ликвидаторов аварий [1]. Также значительную угрозу окружающей среде наносят разливы нефтепродуктов при авариях танкеров (Керченский пролив, 2024), техногенном разрушении нефтебаз (г. Туапсе, 2026), требующих оперативного устранения последствий и защиты ликвидаторов от проникновения токсикантов через материалы спецодежды [2, 3].

И. В. Черунова и соавторы отмечают, что нефтепродукты загрязняют поверхность защитной одежды с одновременным негативным влиянием на свойства текстильных материалов в зависимости от их состава и концентрации агрессивных компонентов в составе нефти, что ухудшает защитные свойства костюма [4]. Разработка пакетов материалов для защитной одежды фильтрующего типа опирается на достижение триады свойств: барьерные свойства при контакте с жидкими загрязнителями; удерживание газообразных опасных веществ сорбирующим слоем; сохранение физиологического комфорта индивида.

В ранних исследованиях В. В. Хаммatовой и Р. Ф. Гайнутдинова установлено, что ткани с содержанием хлопка применимы в специальной одежде вследствие поддержания ими влаго- и воздухообмена, их гигроскопичности, мягкости, гибкости, прочности, стойкости к истиранию и термостойкости [5]. Натуральная текстильная основа пакета материалов предпочтительна по сравнению с полностью синтетическим текстилем, так как накопление влаги в пододежном пространстве ухудшает воздухопроницаемость, вентиляцию и теплозащитные свойства одежды [6, 7]. Перспективным представляется пакет материалов, где внутренний слой натурального текстиля служит основой для закрепления сорбента, предпочтительно активированного угля (по доступности и эколого-экономическим характеристикам) [8] с внешним мембранным слоем [9, 10], повышающим устойчивость материала к агрессивной среде.

В данной работе оценивали свойства внутреннего слоя пакета материалов для защитной одежды фильтрующего типа, а именно характеристики пористости и удельной поверхности, вследствие их влияния на диффузионную проницаемость, сорбционную способность, влаго- и воздухообмен, гигроскопичность. В качестве объектов анализа выбраны текстильные основы, рассматриваемые как потенциальный внутренний слой пакета материалов. Также исследовали те же характеристики у промышленных аналогов, применяемых в составе многослойных пакетов спецодежды (табл. 1, 2).

Таблица 1

Объекты исследования (текстильные основы)

Наименование материала	Поверхностная плотность, г/м²	Краткая характеристика
Саржа, ГК «Балтийский текстиль» (артикул ЦЦ35668)	240	100 % хлопчатобумажная ткань саржевого переплетения, рассматриваемая для внутреннего слоя фильтрующего пакета
Брезент, ООО «ТканиТЕКС» (артикул 11135)	400	Ткань состава лен/хлопок для защитной одежды на вредных производствах
Молескин С-159 ЮГ, ООО «Ивановский меланжевый комбинат»	280	100 % хлопчатобумажная ткань усиленного сатинового переплетения
Молескин С-174 ЮГ, ООО «Ивановский меланжевый комбинат»	250	100 % хлопчатобумажная ткань усиленного сатинового переплетения с дополнительной противоусадочной обработкой

Таблица 2

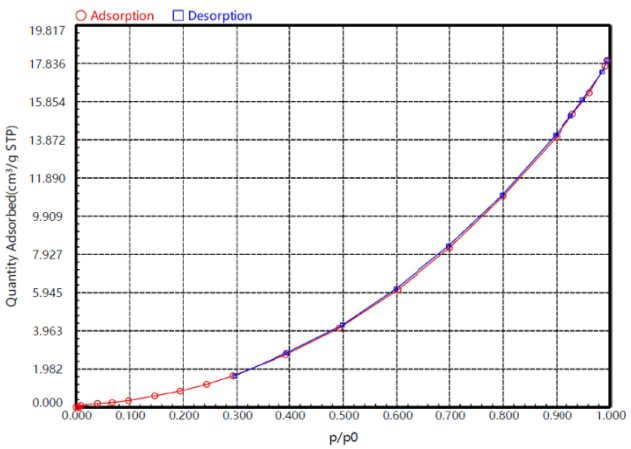
Объекты исследования (промышленные аналоги)

Наименование материала	Поверхностная плотность, г/м²	Краткая характеристика
ММС-Т, АО «КазХимНИИ»	320 ± 30	Многослойный материал, включающий дублерин, волокнистый угленаполненный материал, мембрану и дублерин
Форм, ООО «НПФ „Фабитекс“»	До 230	Полиэфирная ткань, обе стороны которой покрыты угленаполненным составом
ХЗМ, ООО «НПФ „Фабитекс“»	400	Хлопково-полиэфирная ткань специального назначения с распределенным в объеме сорбирующим слоем на основе активированного угля и нанозакрепителя
Митрон, ООО «НПФ „Фабитекс“»	360...380	Угленаполненный текстиль различного состава

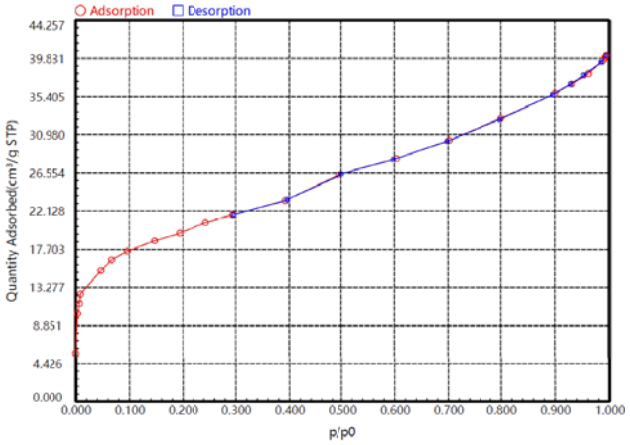
Характеристики пористости и удельной поверхности оценивали методами газовой адсорбции на анализаторе Nova 1200e Quantachrome. Удельную поверхность определяли методом Брунауэра – Эммета – Теллера, основанным на анализе количества адсорбированного газа, необходимого для формирования монослоя на внешней и доступной внутренней поверхности материала. В качестве адсорбтива применяли азот при температуре 77,3 К, расчеты производили по линейному участку изотермы в области относительных давлений в интервале p/p_0 от 0,05 до 0,30. Объем и размер пор рассчитывали по изотермам адсорбции/десорбции по методике Барретта – Джойнера – Халенды, которая позволяет оценить распределение пор по размерам с учетом капиллярной конденсации и толщины адсорбированного слоя на стенках пор [11].

Полученные изотермы адсорбции представлены на рисунке (приведены примеры кривых только для тех материалов, где ход адсорбции/десорбции существенно различается). Результаты расчетов характеристик пористости и удельной поверхности сведены в таблицу 3.

Для исследуемых текстильных основ характерен общий вид хода кривых адсорбции с постепенным увеличением количества адсорбированного азота при росте относительного давления p/p_0 и с более резким подъемом кривых в области высоких давлений. У брезента график идет наиболее плавно и достигает меньших значений сорбции, что согласуется с минимальной удельной поверхностью 12,4091 м²/г и минимальным объемом пор 0,0225 см³/г. У саржи подъем выражен сильнее, а наиболее заметное накопление адсорбата наблюдается у марок Молескин С-174 ЮГ и С-159 ЮГ, что указывает на более развитую доступную поровую структуру. Так, у первой марки объем пор составляет 0,0855 см³/г, а средний их размер достигает 14,0526 нм (см. табл. 3) .



Саржа (текстильная основа)



ММС-Т (промышленный аналог)

Рис. Изотермы адсорбции/десорбции материалов

Таблица 3

Характеристики пористости и удельной поверхности текстильных основ и промышленных аналогов

Наименование образца	Удельная поверхность, м²/г	Объем пор, см³/г	Размер пор, нм
Исследуемые текстильные основы			
Саржа	20,4575	0,0277	5,4268
Брезент	12,4091	0,0225	7,2644
Молескин С-174 ЮГ	24,3452	0,0855	14,0526
Молескин С-159 ЮГ	24,9574	0,0626	10,0413
Промышленные аналоги			
ХЗМ	25,4281	0,0326	5,1311
ММС-Т	66,9367	0,0621	3,7063
Форм	42,6040	0,0688	6,4577
Митрон	17,0851	0,0277	6,4896

Для промышленных аналогов ход изотерм менее однороден. Кривая для марки ММС-Т (см. рис.) отражает наиболее высокий уровень адсорбции. Материал обладает максимальной удельной поверхностью 66,9367 м²/г, что связано с сорбционно-активной структурой материала. Марка Форм также демонстрирует заметный рост сорбции, особенно в области высоких относительных давлений, при этом имеет наибольший объем пор среди аналогов 0,0688 см³/г.

Материал ХЗМ занимает промежуточное положение, а Митрон по характеру кривой ближе к плотным материалам с умеренной сорбционной активностью. Сходство хода кривых саржи, ХЗМ и Митрона и результаты расчетов (см. табл. 3) указывают на доступность их поверхности для адсорбата, тогда как ММС-Т и Молескин С-174 ЮГ отличаются более развитой пористой системой.

По данным таблицы 3 в группе текстильных основ минимальная удельная поверхность зафиксирована у брезента и составляет 12,4091 м²/г. Относительно этого значения тот же показатель выше у саржи на 64,9 %, у марки Молескин С-174 ЮГ на 96,2 %, у марки Молескин С-159 ЮГ в 2,01 раза. Соответственно, марки Молескин имеют более развитую доступную поверхность, относительно брезента и саржи. В группе промышленных аналогов минимальное значение удельной поверхности имеет Митрон – 17,0851 м²/г. Значение того же параметра выше у материала ХЗМ на 48,8 %, у Форм в 2,49 раза, у ММС-Т в 3,92 раза.

При сравнении оцениваемых характеристик текстильных основ и промышленных аналогов можно отметить, что марки Молескин С-159 ЮГ и Молескин С-174 ЮГ приближаются по развитости удельной поверхности к материалу ХЗМ, но не достигают экстремально высоких значений, характерных для ММС-Т. Отсутствие избыточно развитой поверхности внутреннего слоя пакета материалов защитной одежды предотвращает его излишнюю сорбционную активность и накопление влаги тела, способствует комфорту ношения.

Среди исследуемых текстильных основ минимальное значение объема пор регистрируется у брезента 0,0225 см³/г (см. табл. 3). Тот же показатель выше у саржи на 23,1 %; у марок Молескин С-159 ЮГ и Молескин С-174 ЮГ в 2,78 и 3,80 раз соответственно. Среди материалов текстильных основ марка Молескин С-174 ЮГ отличается выраженным поровым объемом, что является положительным фактором для осуществления влагоотведения от тела индивида. В группе промышленных аналогов минимальный объем пор имеет Митрон 0,0277 см³/г, тот же показатель выше у ХЗМ на 17,7 %, у ММС-Т в 2,24 раза, а у Форм выше в 2,48 раза. По значению данного показателя Молескин С-174 ЮГ превосходит все промышленные аналоги, включая Форм, у которого объем пор составляет 0,0688 см³/г. Марка Молескин С-159 ЮГ по характеристике объема пор близка к ММС-Т и несколько уступает Форм. Следовательно, марки Молескин перспективны для создания пакетов материалов, где, кроме защитных свойств, обеспечивается поддержание воздухо- и влагообмена в пододежном пространстве.

Размер пор показывает не только степень развитости структуры, но и характер доступных участков капиллярно-пористой системы материала. Среди текстильных основ минимальный размер пор отмечен у саржи 5,4268 нм (см. табл. 3), у брезента этот показатель выше на 33,9 %, у марок Молескин С-159 ЮГ и С-174 ЮГ на 85,0 % и в 2,59 раза соответственно. По совокупности характеристик у саржи отмечается преимущество в части сочетания умеренного размера и среднего объема пор относительно других анализируемых материалов с достаточно развитой удельной поверхностью 20,4575 м²/г. В группе промышленных аналогов минимальный размер пор имеет материал ММС-Т 3,7063 нм. Тот же показатель характеризуется более высокими значениями для марок ХЗМ – на 38,4 %, Форм – на 74,2 %, Митрон – на 75,1 %. По размеру пор саржа имеет близкие значения к марке ХЗМ, но ниже материалов Форм и Митрон. Марки Молескин, напротив, имеют крупные поры с высокоразвитой поверхностью и значительным их объемом.

Сопоставление анализируемых текстильных основ между собой и с промышленными аналогами позволяет выделить перспективные варианты для внутреннего слоя пакета материалов защитной одежды фильтрующего типа. Молескин С-174 ЮГ отличается лучшим поровым объемом среди текстильных основ и превосходит промышленные аналоги по объему пор, что важно для обеспечения влагообмена. Молескин С-159 ЮГ демонстрирует максимальную удельную поверхность среди текстильных основ и меньший размер пор, чем у марки Молескин С-174 ЮГ, т. е. обладает более сбалансированным сочетанием развитости поверхности, объема и капиллярной структуры. Саржа при умеренном объеме пор обладает развитой удельной поверхностью и минимальным размером пор в группе текстильных основ, что важно для стабильности эксплуатационных свойств внутреннего слоя при чрезмерном увлажнении со стороны пододежной среды.

ВЫВОДЫ

Обосновано, что при разработке внутреннего текстильного слоя для защитной одежды фильтрующего типа необходимо оценивать параметры пористой структуры, так как объем пор, их размер и удельная поверхность определяют доступность внутренней структуры материала, характер влаго- и воздухообмена, а также

способность текстильной основы работать в составе многослойного пакета без ухудшения физиологического состояния индивида. Установлено, что среди исследованных текстильных основ наиболее выраженная поровая структура характерна для материалов группы Молескин. Молескин С-174 ЮГ имеет максимальный объем пор 0,0855 см³/г и наибольший их средний размер 14,0526 нм, а Молескин С-159 ЮГ отличается максимальной удельной поверхностью среди натуральных основ 24,9574 м²/г при объеме пор 0,0626 см³/г.

Выявлено, что промышленные аналоги демонстрируют более неоднородный характер пористой структуры. Так, ММС-Т имеет резко выраженную удельную поверхность 66,9367 м²/г, что отражает высокую сорбционную активность. Однако материал должен обеспечивать не только удержание веществ, но и комфорт при контакте с пододежным пространством. Получено, что марка Форм превосходит другие промышленные аналоги по объему пор 0,0688 см³/г, однако Молескин С-174 ЮГ демонстрирует еще более развитую поровую емкость. Саржа сочетает умеренный объем пор 0,0277 см³/г, развитую удельную поверхность 20,4575 м²/г и минимальный размер пор среди текстильных основ – 5,4268 нм.

Установлено, что для внутреннего слоя пакета материалов защитной одежды фильтрующего типа наиболее перспективными (из анализируемых) являются марки Молескин и саржа. Молескин С-174 ЮГ целесообразно применять при необходимости обеспечения высокого влагопоглощения за счет его поровой емкости, наибольшей относительно рассмотренных промышленных аналогов и текстильных основ. Саржа предпочтительна, когда требуется сочетание умеренной пористости, достаточной удельной поверхности и более мелкого размера пор, для комфортного взаимодействия материала с кожными покровами индивида.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гарафиев А. Р., Тихонова Н. В. Материалы для защитной одежды при возгораниях на предприятиях химического комплекса // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 63–67.
2. Гарафиев А. Р., Тихонова Н. В., Матвеева В. Ю. Сравнительный анализ разрывных характеристик текстильных основ для пакетов материалов фильтрующего типа и промышленных аналогов // Костюмология. 2026. Т. 11, № 1. URL: https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL126.pdf (дата обращения: 05.05.2026).
3. Гарафиев А. Р., Тихонова Н. В. Перспективы применения угольных сорбентов в составе материалов защитной одежды // Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение-2025) : материалы III Всерос. конф. с междунар. участием. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. С. 125–128.
4. Исследование производственных загрязнений спецодежды на объектах нефтяной отрасли / И. В. Черунова, Е. В. Яковлева, Е. Б. Стефанова, И. В. Куренова // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 3. С. 346–351.
5. Хамматова В. В., Гайнутдинов Р. Ф. Исследование пористости текстильных материалов для специальной одежды // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : материалы Всерос. науч.-практ. конф. / сост. Т. В. Лебедева, отв. ред. Н. Н. Муравская. Ч. 1. Кострома, 2020. С. 158–161.
6. Букина Ю. А., Сергеева Е. А. Современные материалы для производства спортивной одежды и термобелья // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 9. С. 112–114.
7. Халилова А. А., Тихонова Н. В., Сайфутдинова И. Ф. Исследование стойкости к открытому пламени натуральных текстильных материалов с водоотталкивающей пропиткой // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 7–13.
8. Морозова И. И., Тихонова Н. В. Разработка пакета материалов с сорбционно-фильтрующим слоем для защитной одежды фильтрующего типа // Костюмология. 2022. Т. 7, № 1. URL: https://kostumologiya.ru/PDF/18TLKL122.pdf (дата обращения: 05.05.2026).
9. Вишневская О. В. Регулирование комплекса свойств текстильных материалов с непористым мембранным покрытием : дис. … канд. техн. наук. Казань, 2019. 183 с.
10. Сайфутдинова И. Ф. Разработка текстильного материала с мембранным слоем для изготовления защитной одежды : дис. … канд. техн. наук. Казань, 2014. 152 с.

11. Исследование пористости и удельной поверхности порошковых материалов на анализаторе Nova1200e : метод. указания / сост. А. В. Скворцов, К. А. Мишагин. Казань, 2020. 33 с.

REFERENCES

1. Garafiyev A. R., Tikhonova N. V. Materials for protective clothing in case of fire at chemical complex enterprises. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy I tekhnologii. Sbornik materialov VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern fireproof materials and technologies.Collection of materials from the VII International scientific and practical conference]. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2024. P. 63–67. (In Russ.)
2. Garafiev A. R., Tikhonova N. V., Matveeva V. Yu. Comparative analysis of the tensile properties of textile bases for filter-type material packages and industrial analogues. *Kostyumologiya* [Journal of Clothing Science]. 2026;11(1):13TLKL126. URL: https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL126.pdf (accessed 05.05.2026). (In Russ.)
3. Garafiyev A. R., Tikhonova N. V. Prospects for the use of carbon sorbents in the composition of protective clothing materials*. *Sovremennyye metody polucheniya materialov, obrabotki poverkhnosti i naneseniya pokrytiy (Materialovedeniye-2025)* [Modern methods of obtaining materials, surface treatment and coating application (Materials Science-2025)]. Proc. of the III All-Russian Conf. with Int. Participation. Kazan, Kazan National Research Technol. Univ. Publ. 2025. P. 125–128. (In Russ.).
4. Cherunova I. V., Yakovleva E. V., Stefanova E. B., Kurenova I. V. Investigation of industrial contamination of protective clothing at oil industry sector. *Vestnik VGUIT* [Bulletin of VSUET]. 2018;80(3):346–351. (In Russ.).
5. Khammatova V. V., Gaynutdinov R. F. Study of porosity of textile materials for special clothes. *Nauchnyye issledovaniya i razrabotki v oblasti dizayna i tekhnologiy* [Scientific research and development in the field of design and technology]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. T. V. Lebedeva (comp.), N. N. Muravskaya (ed.). Part 1. Kostroma, Kostroma St. Univ. Publ., 2020. P. 158–161. (In Russ.)
6. Bukina Yu. A., Sergeeva E. A. Modern materials for the production of sportswear and thermal underwear*. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University]. 2013;16(9):112–114. (In Russ.)
7. Khalilova A. A., Tikhonova N. V., Sayfutdinova I. F. Study of fire resistance of natural textile materials with water-repellent impregnation water-repellent impregnation. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2024,4(66): 7–13. (In Russ.).
8. Morozova I. I., Tikhonova N. V. Development of a package of materials with a sorption-filter layer for filter-type protective clothing. *Kostyumologiya* [Journal of Clothing Science]. 2022;1(7):18TLKL122. URL: https://kostumologiya.ru/PDF/18TLKL122.pdf (accessed 05.05.2026). (In Russ.)
9. Vishnevskaya O. V. Regulation of a Set of Properties of Textile Materials with a Non-porous Membrane Coating*. Cand. Techn. Sci. dis. Kazan, 2019. 183 p. (In Russ.)
10. Sayfutdinova I. F. Development of a Textile Material with a Membrane Layer for the Manufacture of Protective Clothing*. Cand. Techn. Sci. dis. Kazan, 2014. 152 p. (In Russ.)
11. Skvortsov A. V., Mishagin K. A. (comp.). Study of porosity and specific surface area of powder materials using Nova 1200e analyzer*. Kazan, Kazan National Research Technol. Univ. 2020. 33 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 18.05.2026
Принята к публикации 02.07.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

А. Р. Гарафиев, аспирант
Н. В. Тихонова, доктор технических наук, доцент

* Перевод названия источника выполнен авторами статьи / Translated by authors of the article.