

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФТОРИРОВАННОГО АЛЮМОСИЛИКАТА

А.А. Соловьева, Е.Л. Владимирцева, В.А. Кулакова

Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет (ИГХТУ), пр. Шереметевский, 7, г. Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: mironova.anna05@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, vichka.kulakova.03@bk.ru

В последнее время вопросы экологии и устойчивого развития приобретают все большее значение, поэтому современные методы модификации шерстяного волокна должны быть не только эффективными и экономичными, но и экологически чистыми. Это подразумевает минимизацию использования вредных химических веществ, использование биоразлагаемых реагентов, разработку технологий переработки отходов производства и создание замкнутых циклов в технологических процессах. В связи с этим активно ведутся исследования в области "зеленых" технологий модификации шерстяного волокна, использующих натуральные вещества и менее токсичные химические реагенты. Особое внимание уделяется разработке методов, позволяющих сохранить природные свойства шерсти и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду на всех этапах производства. В исследовании в качестве модифицирующего агента шерстяного волокна используется фторированный алюмосиликат (ФТАС) – побочный продукт производства фторида алюминия, выпускаемого Череповецким химическим комбинатом. Кроме оксидов алюминия и кремния, ФТАС содержит в своем составе 2-6% фторида алюминия, имея брутто формулу $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{AlF}_3$. Уникальность этого препарата заключается в том, что в отличие от обычных нерастворимых алюмосиликатов ФТАС сочетает нерастворимую (оксиды кремния и алюминия) и растворимую (фторид алюминия) фракции. Представленные в работе результаты исследований позволяют говорить об эффективности применения фторированного алюмосиликата для модификации свойств шерстяного волокна. Отмечено, что нанесение его на поверхность шерсти как в виде порошка, так и в составе полимерной композиции позволяет регулировать валкостойкость шерсти и увеличит ее устойчивость к биоповреждениям.

Ключевые слова: шерстяное волокно, модификация шерстяных волокон, фторированный алюмосиликат (ФТАС), прочность, валкостойкость

MODIFICATION OF WOOL FIBER PROPERTIES USING FLUORINATED ALUMINOSILICATE

A.A. Solovyova, E.L. Vladimirtseva, V.A. Kulakova

Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetyevo ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation
E-mail: mironova.anna05@mail.ru, elvladimirtseva@mail.ru, vichka.kulakova.03@bk.ru

Recently, environmental and sustainable development issues have become increasingly important, so modern methods of modifying wool fiber should not only be effective and cost-effective, but also environmentally friendly. This means minimizing the use of harmful chemicals, using biodegradable reagents, developing technologies for recycling production waste and creating closed cycles in technological processes. In this regard, research is actively underway in the field of "green" technologies for modifying wool fiber using natural substances and less toxic chemical reagents. Particular attention is paid to the development of methods that preserve the natural properties of wool and minimize the negative impact on the environment at all stages of production. In the study, fluorinated aluminosilicate (FTAS) is used as a modifying agent for wool fiber – a by-

product of aluminum fluoride production, produced by the Cherepovets Chemical Plant. In addition to aluminum and silicon oxides, FTAS contains 2-6% aluminum fluoride, having a gross formula of $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{AlF}_3$. The uniqueness of this preparation is that, unlike conventional insoluble aluminosilicates, FTAS combines insoluble (silicon and aluminum oxides) and soluble (aluminum fluoride) fractions. The research results presented in the paper allow us to talk about the effectiveness of using fluorinated aluminosilicate to modify the properties of wool fiber. It is noted that its application to the surface of wool both in the form of powder and as part of a polymer composition will allow regulating the felting ability of wool and increase its resistance to biodamage.

Keywords: wool fiber, modification of wool fibers, fluorinated aluminosilicate (FTAS), strength, felling capacity

Для цитирования:

Соловьева А.А., Владимирцева Е.Л., Кулакова В.А. Модификация свойств шерстяного волокна с применением фторированного алюмосиликата. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 30–34. DOI: 10.6060/rcj.2025694.4.

For citation:

Solovyova A.A., Vladimirtseva E.L., Kulakova V.A. Modification of wool fiber properties using fluorinated aluminosilicate. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 30–34. DOI: 10.6060/rcj.2025694.4.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время шерстяное волокно приобретает все большую популярность в мировой индустрии. На протяжении двух последних лет производство шерсти в России, по данным Минсельхоза, сохраняется на уровне 46 тыс. т. Почти 16 тыс. т от общего объема – тонкая и полутонкая шерсть, которую производят сельхозпредприятия и крестьянско-фермерские хозяйства из 14 регионов [1]. Шерстяное волокно обладает такими потребительскими характеристиками как высокая теплоемкость, гигроскопичность, огнестойкость, исключительными упруго-эластическими и антистатическими свойствами [2, 3]. Природное происхождение шерстяного волокна, возобновляемость сырья тоже играет немаловажную роль.

Шерсть особенное волокно, многие его свойства имеют неоднозначный характер. Так, специфическое строение поверхности шерсти делает ее восприимчивой к валянию и усадке. Это свойство является одновременно как достоинством, так и недостатком. Высокое влагопоглощение делает шерсть неустойчивой к повреждению гнилостными бактериями и т.д. В шерстяном производстве существует программа маркировки изделий "Woolscience" – "Научная шерсть", направленная на решение проблемы качества шерстяного сырья, переработки волокна с получением требуемых свойств и компенсацией недостатков [4-7].

Основным направлением модификации шерсти для придания ей требуемых функциональных характеристик является обработка волокна различными химическими веществами [8-13], желатель-

но представляющими опасности с точки зрения экологии.

Задачей исследования было применение в качестве модифицирующего агента шерстяного волокна фторированного алюмосиликата (ФТАС). Это побочный продукт производства фторида алюминия, выпускаемого Череповецким химическим комбинатом [14]. Кроме оксидов алюминия и кремния, ФТАС содержит в своем составе 2-6% фторида алюминия, имея брутто формулу $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{AlF}_3$ [15]. Уникальность этого препарата заключается в том, что в отличие от обычных нерастворимых алюмосиликатов ФТАС сочетает нерастворимую (оксиды кремния и алюминия) и растворимую (фторид алюминия) фракции. Варианты применения фторированного алюмосиликата для отделки текстильных материалов приведены в работах [16-19].

В настоящем исследовании рассматривается возможность его использования для модификации свойства шерстяного волокна, как в виде мелкодисперсного порошка, так и в сочетании с полимерной композицией (ПК).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования в работе использовалась шерстяное волокно (ШВ) в виде ровницы непромывное, неотбеленное. Порошок ФТАС на ШВ наносили из водной дисперсии при комнатной температуре при постоянном перемешивании. Соотношение ФТАС:вода составляло 1:100. Время перемешивания варьировалось от 5 до 40 мин. При приготовлении дисперсии с полимерами порошок предварительно смешивался с ПК в соотношении 1:1 и растирался с добавлением 2 ч воды.

Перед обработкой волокна полученная масса разводилась водой 1:100. Образец пропитывался композицией, высушивался и термофиксировался при температуре 150 °С в течение 3 мин. В работе применялись современные отделочные препараты отечественного производства Рузин 33 и Ларус 33П, выпускаемые российской группой компаний "СВАН" [20-22]. Рузин 33 и Ларус 33П представляют собой водные сополимерные дисперсии на основе акриловой и метакриловой кислот, винилацетата и эфира акриловой кислоты, соответственно.

У обработанного волокна контролировали изменение прочностных свойств – по измерению разрывной нагрузки пучка волокон на динамометре типа ДШ-3М [23]. Оценивали валкоспособность шерсти методом мокрого ручного валяния при замачивании в мыльно-содовом растворе. Устойчивость волокна к гнилостным бактериям и плесневым грибкам определяли в соответствии с ГОСТ 9.051-75 [24].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как было отмечено выше, шерстяное волокно имеет сложное строение: поверхностный чешуйчатый слой, система микропор и микротрещин, размер которых может достигать 12 мкм. Такое структурное своеобразие делает возможным захват и фиксацию на поверхности мельчайших частиц алюмосиликата (6-10 мкм).

На рис. 1 приведены данные по привесу шерстяного волокна после обработки составами с ФТАС при различных условиях. Из диаграммы видно, что на волокно наносится от 1,5 до 3% чистого препарата. Причем температурный фактор практически не влияет на количество наносимого порошка. Значение имеет время обработки – содержание алюмосиликата на волокне возрастает в течение 20-30 мин, а после начинает снижаться, постепенно вымываясь с поверхности.

В присутствии полимеров зависимость несколько другая. С одной стороны, на волокно наносится меньше порошка ФТАС, чем в исходном состоянии, а с другой, он практически не вымывается из волокна при продолжительной обработке.

С количественным приростом ФТАС коррелирует изменение прочности волокна. При времени обработки до 20 мин волокно практически не повреждается, но при длительном нахождении в дисперсии ФТАС происходит снижение прочности на 10-12% вследствие истирания поверхности шерсти абразивными частицами (табл. 1).

При использовании ФТАС в сочетании с полимерами прочность обработанного волокна также

заметно снижается. При обработке полимерной композицией поверхность волокон становится более гладкой, а сами волокна теряют природную извитость, из-за этого снижается сила сцепления между ними.

Выше уже упоминалось, что способность шерсти свойлачиваться напрямую связана с поверхностными характеристиками волокон, поэтому любая обработка шерсти, воздействующая на эти свойства, неминуемо скажется на её способности к валке.

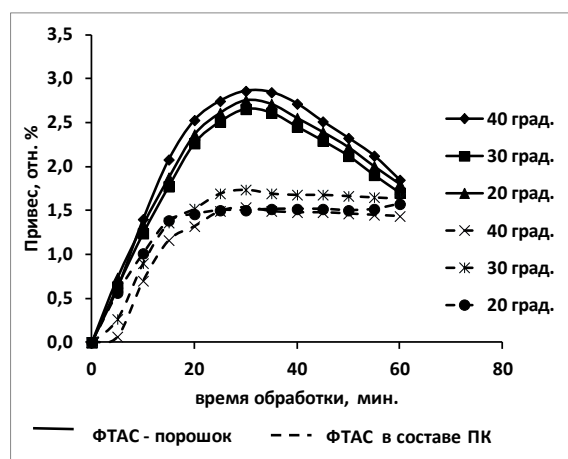


Рисунок. Изменение массы шерстяного волокна после обработки с ФТАС

Figure. Change in the weight of wool fiber after treatment with FTAS

Таблица 1

Прочностные свойства шерстяного волокна, обработанного фторированным алюмосиликатом
Table 1. Strength properties of wool fiber treated with fluorinated aluminosilicate

Условия обработки		Потери прочности, %
Время, мин	Температура, °С	
10	20	0-0,3
	30	0-0,3
	40	0-0,5
20	20	0-0,3
	30	0,1-0,5
	40	0,2-0,5
30	20	4-6
	30	5-7
	40	7-9
60	20	9-11
	30	9-12
	40	10-12

Анализ полученных данных показал, что обработка волокна фторированным алюмосиликатом приводит к заметному увеличению свойлачиваемости шерсти (табл. 2). Его частицы проникают в

структуру волокнистого материала, изменяя его физические свойства и, потенциально, увеличивая сцепление между ними. Полученная зависимость валкостойкости от времени обработки хорошо согласуется с данными по изменению массы шерстяного волокна (см. рисунок). Это дополнительное подтверждение предположения о "полирующем" эффекте поверхности шерсти на начальном этапе обработки, а также о более «глубоком» действии на волокно при увеличении времени контакта.

Таблица 2

Влияние присутствия ФТАС на волокне на валкостойкость

Table 2. The effect of the presence of FTAS on fiber on rolling capacity

Условия обработки	Изменение объема шерсти при валке, %
Без обработки	57±2
ФТАС 10 мин	58±2
ФТАС 20 мин	60±2
ФТАС 30 мин	64±2
ФТАС 40 мин	66±2
ФТАС 60 мин	70±2
ФТАС:Рузин 33 10 мин	34±2
ФТАС:Рузин 33 60 мин	34±2
ФТАС:Ларус 33 П 10 мин	36±2
ФТАС:Ларус 33 П 60 мин	36±2

Сочетание ФТАС с полимерами, «склеивая» чешуйки и образуя полимерный застил на поверхности волокон, напротив, снижает способность шерсти к свойлачиванию. Причем время обработки шерсти составом ФТАС:ПК практически не имеет значения. Таким образом, результаты исследования открывают возможности для целенаправленного регулирования валкостойкости шерстя-

ного волокна в зависимости от требуемых свойств конечного изделия.

Выше уже отмечалось, что шерсть обладает довольно существенным недостатком – высокой восприимчивостью к воздействию микроорганизмов. Различные бактерии и грибки, обитающие на шерсти животного, не только выживают, но и активно размножаются на протяжении всего технологического цикла облагораживания волокна и производства пряжи и тканей, продолжая свою разрушительную деятельность уже в готовых шерстяных изделиях. Проведенные эксперименты показали, что присутствие ФТАС на волокне как в виде порошка, так и в ПК может повысить стойкость шерсти к гниению: уровень повреждения волокна по сравнению с исходным снижается на 30-36% при обработке дисперсией ФТАС и на 65-70% при обработке им в составе ПК.

ВЫВОДЫ

Представленные в работе результаты исследований показывают эффективность применения фторированного алюмосиликата для модификации свойств шерстяного волокна. Установлено, что нанесение его на поверхность шерсти как в виде порошка, так и в составе полимерной композиции позволяет регулировать валкостойкость шерсти и увеличивает ее устойчивость к биоповреждениям.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИИР, тема № FZZW-2023-0008.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х., Егоров М.П., Мовсумзаде Э.М., Евстигнеев Э.И., Васильев А.В., Севастьянова М.В., Волошин А.И., Нифантьев Н.Э., Носов В.В., Докичев В.А., Бабаев Э.Р., Роговина С.З., Берлин А.А., Фахреева А.В., Баулин О.А., Колчина Г.Ю., Воронов М.С., Староверов Д.В., Козловский И.А., Козловский Р.А., Тарасова Н.П., Занин А.А., Кривобородов Е.Г., Каримов О.Х., Флид В.Р., Логинова М.Е. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 9. С. 4-121. DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
2. Ammayappan L. // *Wool Fiber Reinforced Polymer Composites*. 2022. P. 49-71. DOI: 10.1016/B978-0-12-824056-4.00011-X.
3. Ammayappan L., Ghosh R.K., Dasgupta S., Chakraborty S., Ganguly P.K. // *J. of Industrial Textiles*. 2018. V. 47. N 5. P. 640-655. DOI: 10.1177/1528083716667259.

REFERENCES

1. Teptereva G.A., Pakhomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov E.H., Egorov M.P., Movsumzade E.M., Evstigneev E.I., Vasiliev A.V., Sevastyanova M.V., Voloshin A.I., Nifantsev N.E., Nosov V.V., Dokichev V.A., Babaev E.R., Rogovina S.Z., Berlin A.A., Fakhreeva A.V., Baulin O.A., Kolchina G.Yu., Voronov M.S., Staroverov D.V., Kozlovsky I.A., Kozlovsky R.A., Tarasova N.P., Zanin A.A., Krivoborodov E.G., Karimov O.Kh., Flid V.R., Loginova M.E. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 9. P. 4-121. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
2. Ammayappan L. // *Wool Fiber Reinforced Polymer Composites*. 2022. P. 49-71. DOI: 10.1016/B978-0-12-824056-4.00011-X.
3. Ammayappan L., Ghosh R.K., Dasgupta S., Chakraborty S., Ganguly P.K. // *J. of Industrial Textiles*. 2018. V. 47. N 5. P. 640-655. DOI: 10.1177/1528083716667259.

4. Ashour T., Georg H., Wu W. // *J. Energy and Buildings*. 2011. V. 43. N 8. P. 1960-1967. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.001.
5. Yu J., Pang Z., Zhang J., Zhou H., Wei Q. // *Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018. V. 548. P. 117-124. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.065.
6. Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Кузнецов О.Ю. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. 68. № 2. С. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
7. Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Ильичева М.Д., Липина А.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
8. Ranjbar-Mohammadi M., Arami M., Bahrami H., Mazaheri F., Mahmoodi N.M. // *Colloids Surf. B*. 2010. V. 76. N 2. P. 397-403. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2009.11.014.
9. Wang X., Zhao Y., Li W., Wang H. // *Appl. Surf. Sci.* 2015. V. 342. P. 101-105. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.03.027.
10. Hassan M.M., Leighs S.J. // *Appl. Surf. Sci.* 2017. V. 419. P. 348-356. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.05.046.
11. Чурсин В.И., Борисов А.А. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. № 2. С. 88-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6477.
12. ProfMedRemont.Ru. URL: <https://profmedremont.ru/blog/vazhnost-ftoristogo-aljuminija-v-aljuminievoj>. (дата обращения: 02.06.2025).
13. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. 68. № 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
14. Боярко Г.Ю., Хатьков В.Ю. // *Изв. ТПУ*. 2004. Т. 307. № 3. С. 165-169.
15. ГОСТ 19181-78. Алюминий фтористый технический, Государственный комитет СССР по стандартам. М. 1989. С. 3.
16. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Тимофеева С.В. // *Рос. хим. ж.* 2014. Т. 58. № 2. С. 59-67.
17. Липина А.А., Петрова Л.С., Одинцова О.И., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 97-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.
18. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Миронова А.А. // *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 307-312. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-307-312.
19. Владимирцева Е.Л., Шарнина Л.В., Блиничева И.Б. // *Изв. вузов. Техн. текст. пром-сти*. 2008. № 3 (308). С. 62-65.
20. СВАН Водные дисперсии полимеров. Каталог продукции URL: <https://swan-nn.ru/load> (дата обращения 02.06.2025).
21. Зеленкова Т.Н., Козлова О.В., Ширманова В.В., Хакхин С.Н. // *Рос. хим. ж.* 2018. Т. 62. № 3. С. 18-22.
22. Козлова О.В., Меленчук Е.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2013. Т. 56. № 2. С. 121-123.
23. ГОСТ 20269-93. Шерсть. Методы определения разрывной нагрузки.
24. ГОСТ 9.051-75. Единая система защиты от коррозии и старения. Компоненты полимерных материалов. Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов.
4. Ashour T., Georg H., Wu W. // *J. Energy and Buildings*. 2011. V. 43. N 8. P. 1960-1967. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.001.
5. Yu J., Pang Z., Zhang J., Zhou H., Wei Q. // *Surf. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018. V. 548. P. 117-124. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.065.
6. Dymnikova N.S., Erohina E.V., Kusnetsov O.Yu. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 2. P. 3-12. DOI: 10.6060/rcj.2024682.1.
7. Erzunov K.A., Odintsova O.I., Tregubov A.V., Ilyicheva M.D., Lipina A.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 89-95. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6825.
8. Ranjbar-Mohammadi M., Arami M., Bahrami H., Mazaheri F., Mahmoodi N.M. // *Colloids Surf. B*. 2010. V. 76. N 2. P. 397-403. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2009.11.014.
9. Wang X., Zhao Y., Li W., Wang H. // *Appl. Surf. Sci.* 2015. V. 342. P. 101-105. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.03.027.
10. Hassan M.M., Leighs S.J. // *Appl. Surf. Sci.* 2017. V. 419. P. 348-356. DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.05.046.
11. Chursin V.I., Borisov A.A. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 2. P. 88-95. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226502.6477.
12. ProfMedRemont.Ru. URL: <https://profmedremont.ru/blog/vazhnost-ftoristogo-aljuminija-v-aljuminievoj>. (date of request: 02.06.2025). (in Russian).
13. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 4. P. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
14. Boyarko G.Yu., Khatkov V.Yu. // *Proceedings of TPU*. 2004. V. 307. N 3. P. 165-169. (in Russian).
15. GOST 19181-78. Technical aluminum fluoride, USSR State Committee on Standards. Moscow. 1989. P. 3.
16. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Timofeeva S.V. // *Ros. Khim. Zh.* 2014. V. 58. N 2. P. 59-67. (in Russian).
17. Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Ilyicheva M.D. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 97-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.
18. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Mironova A.A. // *Bulletin of VGUIT*. 2018. V. 80. N 2 (76). P. 307-312. (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-307-312.
19. Vladimirtseva E.L., Sharnina L.V., Blinicheva I.B. // *Technology of the textile industry*. 2008. N3 (308). P. 62-65. (in Russian).
20. SVAN Aqueous polymer dispersions. Product Catalog URL: <https://swan-nn.ru/load> (date of request: 02.06.2025). (in Russian).
21. Zelenkova T.N., Kozlova O.V., Shirmanova V.V., Khakhin S.N. // *Ros. Khim. Zh.* 2018. V. 62. N 3. P. 18-22. (in Russian).
22. Kozlova O.V., Melenchuk E.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2013. V. 56. N 2. P. 121-123. (in Russian).
23. GOST 20269-93. Wool. Methods for Determining Breaking Load. (in Russian).
24. GOST 9.051-75. Unified System of Protection against Stitching and Aging. Components of Polymer Materials. Methods of Laboratory Tests for Exposure to Solar Mold Fungi. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 09.07.2025

Принята к опубликованию (Accepted) 14.08.2025