

УДК 677.017  
DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_5\_95

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ  
И УДЛИНЕНИЯ СУКОННОЙ ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ  
ПРИ МОДИФИКАЦИИ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ**

**STUDY OF STRENGTH AND ELONGATION INDICATORS  
OF WOVEN FABRIC FOR SPECIAL CLOTHING  
BY MODIFYING ITS SURFACE  
WITH LOW-TEMPERATURE PLASMA**

*Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА*

*R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: elm.kzn@mail.ru

*В статье представлены результаты исследования повышения разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения суконных материалов для специальной одежды. Цель работы заключалась в разработке технологии наноструктурирования суконных материалов для повышения разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения опытных образцов спец-одежды за счет обработки потоком неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления. Объектом исследования выбрана ткань для спец-одежды с содержанием шерстяного и синтетического полиэфирного волокна. Для экспериментальных исследований разрывной нагрузки*

*и относительного разрывного удлинения контрольных и наноструктурированных образцов использовали разрывную машину МТ 110-5 ООО «Метро-текс». Технологию модификации тканей для спецодежды проводили электрофизическим методом обработки на уникальной полупромышленной плазменной установке периодического действия «WATT 4000 ПТ ПЛАЗМА 3» с применением потока неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления на базе Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» КНИТУ. Разрывная нагрузка полученных наноструктурированных суконных тканей для специальной одежды повысилась по основе на 34,9%, по утку на 32,5%, при этом относительное разрывное удлинение увеличилось по основе на 43,7 %, по утку на 33,3% относительно контрольных образцов. Исследуемый образец сукна шинельного 2С-4ВО показывает максимальные прочностные показатели при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=23...26$  Па, скорости воздействия  $\tau=1$ м/мин, мощности разряда  $W_p=4,0$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{возд}=0,04$  г/с.*

*The article presents the results of a study of increasing the tensile load and relative tensile elongation of cloth materials for special clothing. The aim of the work was to develop a nanostructuring technology for cloth materials to increase the tensile load and relative tensile elongation of workwear prototypes due to processing with a flow of nonequilibrium low-temperature plasma (NNTP) of reduced pressure. The object of the study is a fabric for workwear containing wool and synthetic polyester fibers. For experimental studies of the breaking load and relative breaking elongation of control and nanostructured samples, the MT 110-5 bursting machine of «Metrotex» LLC was used. The technology of fabric modification for workwear was carried out by an electrophysical processing method on a unique semi-industrial plasma installation of periodic action «WATT 4000 PT PLASMA 3» using a flow of nonequilibrium low-temperature plasma of low pressure on the basis of the Center for Collective Use «Nanomaterials and Nanotechnology» KNIU. The obtained nanostructured cloth fabrics for special clothing increased the breaking load on the base by 34,9% and on the weft by 32,5%, while the relative tensile elongation, respectively, was 43,7% on the base and 33,3% on the weft, relative to the control samples. The studied sample of the material «Cloth overcoat 2C-4VO», maximizes strength parameters and relative breaking elongation at the following parameters of the effect of the low-pressure NNTP flow: operating pressure in the vacuum chamber  $P_k = 23-26$  Pa, the rate of impact  $\tau=1$ m/min, discharge power  $W_p = 4,0$  kW and plasma-forming gas consumption  $G_{air} = 0,04$  g/s.*

**Ключевые слова:** сукно, неравновесная низкотемпературная плазма, разрывная нагрузка, наноструктурирование, ткани для специальной одежды, относительное разрывное удлинение.

**Keywords:** cloth, nonequilibrium low-temperature plasma, breaking load, nanostructuring, fabrics for special clothing, relative tensile elongation.

#### *Введение*

К одежде специального назначения из суконных чистшерстяных и полusherстяных волокон предъявляются повышенные требования в зависимости от ее назначения

и условий эксплуатации [1...3]. Одним из важных требований является прочность текстильного материала для рабочей одежды согласно ГОСТ 27542-87 «Ткани суконные чистшерстяные и полusherстяные ведом-

ственного назначения». Прочность ткани означает сопротивление разрыву и является важной характеристикой, влияющей на качество ткани. Удлинение при растяжении (абсолютное и относительное) является стандартным показателем качества текстиля, как и разрывная нагрузка. Относительное удлинение при разрыве – это отношение абсолютного удлинения при разрыве образца к начальной зажимной длине, выраженное в процентах. Этот показатель дает информацию о значениях разрывных характеристик материала, превышение которых неизбежно повлечет за собой разрушение или нарушение целостности структуры материала (ткани). Данный показатель закладывается конструкторами и дизайнерами при расчете моделей одежды на прочность [4, 5].

Повышение прочности и относительного разрывного удлинения суконных материалов для одежды специального назначения является сложной задачей, решение которой требует применения нанотехнологий, связанных с воздействием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления [6...9].

Грубая толстая шерстяная ткань используется для пошива плотной спецодежды (костюмы для нефтегазового комплекса, специалистов химической промышленности), которая подвергается в процессе ее эксплуатации воздействию многочисленных опасных и вредных механических факторов (движущиеся машины и механизмы, электрический ток, повышенная температура поверхностей оборудования, вредные газы, жидкие химические вещества и др.). Поэтому качественная специальная одежда из сукна должна полностью выдерживать внешние нагрузки, не терять первоначальных характеристик после эксплуатации и механических воздействий, обладать повышенной стойкостью к проколам и истиранию, а также соответствовать требованиям безопасности труда ГОСТ Р ЕН 340-210 (ЕН 340:2003) «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная. Общие технические требования».

Согласно анализу литературы [1] профессиональная защитная одежда для работников нефтегазового комплекса, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности должна быть комфортной независимо от уровня защиты. Свойства текстильных материалов, из которых изготовлена защитная одежда, играют важную роль в удовлетворении этих сложных требований [3, 7].

Специальная одежда должна характеризоваться хорошей прочностью и растяжимостью, то есть быть практичной в использовании. Сильно уваленная шерстяная ткань, имеющая войлокообразный застил и значительную толщину, не всегда может обеспечить необходимые прочностные свойства специальной одежды и удлинение волокон, но может увеличить вес спецодежды. Поэтому для производства шерстяных суконных полотен используются различные химические и электрофизические методы модификации [5...10].

#### *Материалы и методы исследований*

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока ННТП пониженного давления на прочностные свойства текстильных материалов для специальной одежды и их относительное разрывное удлинение. Исследование проводилось на контрольных и наноструктурированных образцах с содержанием шерстяных волокон. В качестве объекта исследования выбран суконный материал, применяемый для изготовления рабочей одежды специального назначения, характеристики которого представлены в табл. 1.

Принцип действия заключался в модификации поверхности суконной ткани потоком ННТП пониженного давления на уникальной полупромышленной плазменной установке периодического действия «ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3». В камере создавалось пониженное давление, и обработка проводилась в потоке ННТП при температуре не выше 60...80°C в сети переменного тока с напряжением 380/220 В ± 5% и частотой 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон и воздух [6...8].

Наименование ткани	Артикул	Состав волокон, %		Вес, г/м <sup>2</sup>	Переплетение	Пропитка
		шерсть	полиэфир			
Сукно шинельное 2С-4ВО	6425	87	13	760	Полотняное	Масловодоотталкивающая (МВО)

Образец суконной ткани, помещенный в высокочастотную плазму, приобретал отрицательный заряд из-за большой подвижности электронов по сравнению с ионами. При этом ионы плазмы ускорялись в электрическом поле СПЗ до энергии 100 эВ, бомбардировали поверхность образца и проникали на глубину 0,03...0,045 нм. В процессе ионной бомбардировки поверхности сукна в потоке ННТП пониженного давления и проникновения ионов плазмообразующего газа на внутреннюю поверхность пор происходила рекомбинация заряженных частиц. При столкновении с поверхностью материала ионы передавали свою кинетическую энергию и энергию рекомбинации макромолекулам волокон, что привело к изменению конформации полимерных цепей и надмолекулярных структур шерсти, а также к усилению водородных связей между аминокруппами и гидроксильными боковых цепей  $\alpha$ -спирали и аминокислотными остатками матрикса, что способствовало уплотнению надмолекулярной структуры шерстяных волокон.

Обработка опытных образцов суконных тканей осуществлялась при варьировании входных параметров плазменной установки: мощность разряда ( $W_p$ ) составляла от 1,5 до 5,0 кВт, расход плазмообразующего газа ( $G$ ) от 0 до 0,08 г/с, давление в вакуумной камере ( $P_k$ ) от 13 до 53 Па и скорость обработки ( $\tau$ ) от 1 до 3 м/мин.

Для наноструктурирования объектов исследования применяли экспериментальную партию сукна после технологического процесса ткачества с целью улучшения в ткани механических свойств. Плазменное модифицирование проводили на сукне с содержанием шерстяных волокон потоком ННТП пониженного давления для уменьшения разрывной нагрузки и относительного разрывного удлинения.

Сведения о повышении показателей механических свойств опытных образцов

спецодежды из разрабатываемых материалов подлежали проверке. Для этого осуществляли оценку их качественных характеристик после модифицирования в потоке ННТП пониженного давления и определяли разрывную нагрузку и относительное разрывное удлинение контрольных и наноструктурированных опытных образцов суконных тканей на разрывной машине МТ 110-5 согласно ГОСТ 3813-72 «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении». Испытания проводили до разрушения на 5 опытных образцах, затем определяли среднее значение полученных результатов.

#### *Результаты и обсуждения*

Изменения относительной разрывной нагрузки ( $\Delta P_n$ , %) и относительного разрывного удлинения ( $\Delta l_o$ , %) в результате обработки потоком ННТП пониженного давления оценивались относительно контрольных образцов по формулам:

$$\Delta P_n = \frac{(P_{нк} - P_{ннТП})}{P_{нк}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\Delta l_o = \frac{(l_{ок} - l_{оННТП})}{l_{ок}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $P_{нк}$  – разрывная нагрузка контрольных образцов до плазменной обработки в потоке ННТП пониженного давления, Н;  $P_{ннТП}$  – разрывная нагрузка образцов после обработки в потоке ННТП пониженного давления, Н;  $l_{ок}$  – относительное разрывное удлинение контрольных образцов до плазменной обработки в потоке ННТП пониженного давления, %;  $l_{оННТП}$  – относительное разрывное удлинение образцов после обработки в потоке ННТП пониженного давления, %.

На рис. 1 представлены графики зависимости разрывной нагрузки от видов и расхода плазмообразующих газов, применяемых при наноструктурировании потоком

ННТП пониженного давления сурового материала «сукно шинельное 2С-4ВО» (87% шерсть, 13 % полиэфир) поверхностной плотности  $760 \pm 40$  г/м<sup>2</sup>.

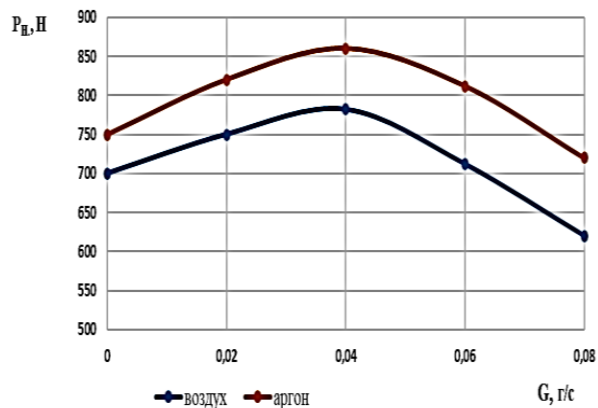


Рис. 1

Одной из особенностей анализа полученных данных является тип используемого плазмообразующего газа. В технологическом процессе наноструктурирования

ткани «сукно шинельное 2С-4ВО» в качестве плазмообразующего газа в основном использовали воздух, так как различия в значениях  $P_n$  волокнистых материалов не превышают 10%.

Установлено, что поток ННТП при пониженном давлении может стать эффективным способом улучшения механических свойств экспериментального образца сукна шинельного, используемого в качестве объекта исследования.

На рис. 2 и 3 представлены экспериментальные результаты исследований разрывной нагрузки ( $P_n$ ) сукна шинельного 2С-4ВО после воздействия потока ННТП пониженного давления. Максимальное значение разрывной нагрузки от 600 Н до 782 Н наблюдалось в диапазоне скорости обработки 0,5...1,5 м/мин, при увеличении скорости модифицирования до 2,5 м/мин происходило снижение прочности волокон и разрывная нагрузка уменьшалась.

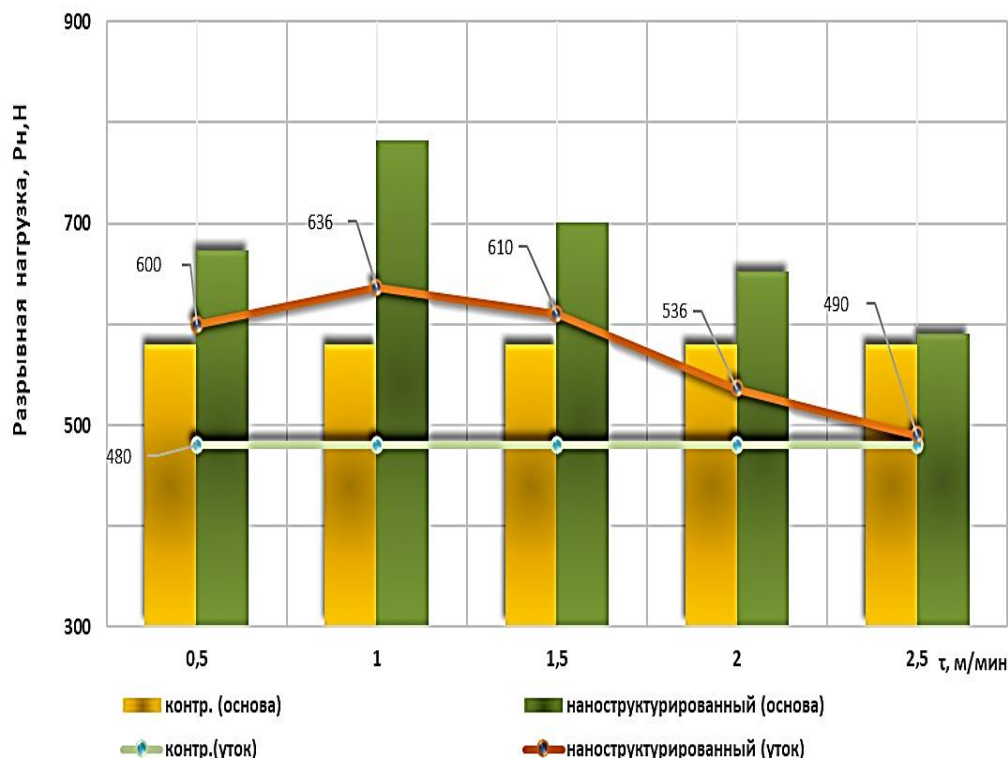


Рис. 2

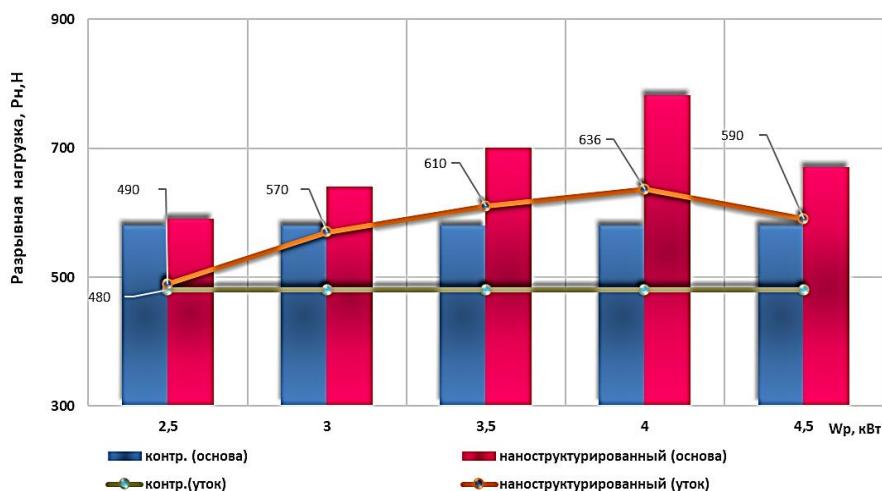


Рис. 3

Из рис. 2 и 3 наглядно показано влияние ННТП на разрывную нагрузку текстильного материала с водоотталкивающей пропиткой как по основе, так и по утку. В этом случае за счет наноструктурирования потоком ННТП можно добиться увеличения  $P_n$  на 34,9% по основе и на 32,5% по утку в диапазоне времени обработки от 0,5 до 1,5 м/мин. Получили параметры наноструктурирования

ткани для спецодежды «сукно шинельное 2С-4ВО»:  $P_k=23...26$  Па;  $W_p=4,0$  кВт;  $\tau=1$  м/мин;  $G_{\text{возд}}=0,04$  г/с.

Проведено исследование относительного разрывного удлинения наноструктурированной суконной ткани для специальной одежды после воздействия потока ННТП пониженного давления. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Мощность разряда $W_p$ , кВт	Относительное разрывное удлинение, %, при давлении в вакуумной камере $P_k$ , Па			
	$P_k = 23$	$P_k = 25$	$P_k = 27$	$P_k = 29$
	основа/утюк	основа/утюк	основа/утюк	основа/утюк
2,5	30/16	32/18	30/16	28/14
3,0	36/24	39/29	38/28	32/20
3,5	38/22	44/33	42/30	36/19
4,0	40/30	<b>48/36</b>	<b>47/34</b>	38/20
4,5	36/26	39/30	38/30	32/16
5,0	28/14	31/16	30/14	28/12
Контрольный образец	21/12			

На основе полученных результатов исследований опытных образцов и анализа табл. 2 установлено, что контрольные и наноструктурированные полотна сукна шинельного 2С-4ВО имели максимальное относительное удлинение при растяжении 43,8 % по основе и 33,3 % по утку в определенном режиме наноструктурирования ткани:  $P_k=23...26$  Па,  $W_p=4,0$  кВт,  $\tau=1$  м/мин;  $G_{\text{возд}}=0,04$  г/с.

*Заключение*

Таким образом, полученные опытные образцы суконных материалов для спец-

одежды соответствуют требованиям безопасности средств индивидуальной защиты, обладают повышенной разрывной нагрузкой и относительным разрывным удлинением. Суконные ткани для специальной одежды, полученные на основе применения метода наноструктурирования потоком ННТП пониженного давления, способны повышать разрывную нагрузку по основе на 34,9% и по утку на 32,5%, при этом относительное разрывное удлинение увеличилось по основе на 43,7 % и по утку на 33,3% по сравнению с контрольными образцами, не про-

шедшими ННТП обработку. Это свидетельствует о том, что сукно шинельное 2С-4ВО является качественным материалом для специальной одежды, который полностью выдерживает внешние нагрузки, не теряет первоначальных характеристик после эксплуатации и многочисленных механических воздействий. При этом сукно шинельное 2С-4ВО показывает максимальные прочностные показатели при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере  $P_k=23\dots26$  Па, скорости воздействия  $\tau=1$  м/мин, мощности разряда  $W_p=4,0$  кВт и расходе плазмообразующего газа  $G_{\text{возд}}=0,04$  г/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронова И.А. Спецодежда и спецобувь для работников химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1984. 176 с.
2. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М., Давыдов А.Ф. и др. Текстильное материаловедение. М.: Инфра-М, 2016. 341 с.
3. Соколов Л.А. Российский рынок ткани для спецодежды. Стратегические перспективы // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2005. № 2(12). С. 108...111.
4. Шустов Ю.С., Зиновьев Т.В., Зиновьев В.П. Совершенствование методики расчета объемной плотности шерстяной аппаратной пряжи // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2(410). С. 75...80.
5. Пат. 2490377 РФ, МПК7 D 01 C 3/00, D 06 M 13/144. Способ обработки шерстяного волокна.
6. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышение физико-механических свойств технических материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 6 (390). С. 74...80.
7. Хамматова Э.А. Повышение эксплуатационных свойств готовых изделий одежды специального назначения на основе применения модифицированных текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 5 (389). С. 74...79.
8. Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В. Повышение качества суконной ткани для спецодежды после наноструктурирования плазмой // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 69...76.
9. Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В. Обеспечение требуемого уровня качества спецодежды из наномодифицированных тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №5 (407). С. 80...86.
10. Слепнева Е.В., Хамматова В.В. Влияние химических реагентов на кератин шерстяных волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, №.16. С. 73...75.

#### REFERENCES

1. Safronova, I.A. Overalls and safety shoes for workers of the chemical, oil refining and petrochemical industries. M.: Khimiya, 1984. 176 p.
2. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M., Davydov A.F. etc. Textile materials science. Moscow: Infra-M, 2016. 341 p.
3. Sokolov L.A. Russian market of fabrics for workwear. Strategic perspectives // Bulletin of the Kostroma State Technological University. 2005. № 2(12). Pp. 108...111.
4. Shustov Yu.S., Zinoviev T.V., Zinoviev V.P. Calculating method improvement of bulk density of wool yarn // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. № 2(410). Pp. 75...80.
5. Pat. 2490377 Russian Federation, IPC7 D 01 With 3/00, D 06 M 13/144. The method of processing wool fiber.
6. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. № 6 (390). Pp. 74...80.
7. Khammatova E.A. Improving the performance properties of finished products of special purpose clothing based on the use of modified textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. № 5 (389). Pp. 74...79.
8. Gainutdinov R.F., Khammatova V.V. Improving the quality of cloth fabric for workwear after plasma nanostructuring // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022, № 4 (400). Pp. 69...76.
9. Gainutdinov R.F., Khammatova V.V. Ensuring the required quality level of workwear made of nanomodified fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №5 (407). Pp. 80...86.
10. Slepneva E.V., Khammatova V.V. Influence of chemical reagents on keratin of wool fibers // Bulletin of the Kazan Technological University. 2014. Vol. 17, No.16. Pp. 73...75.

Рекомендована кафедрой дизайна КНИТУ. Поступила 07.08.24.