

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ***

**RESEARCH OF THE MICROSTRUCTURE OF FIBROUS MATERIALS
FOR POLY-COMPONENT FUNCTIONAL INSULATORS**

*И.В. ЧЕРУНОВА, Е.В. РУМЯНЦЕВ, Е.Б. СТЕФАНОВА, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ,
З.А. САБИРОВА, З.М. АХМЕДОВА*

*I.V. CHERUNOVA, E. V. RUMYANTSEV, E.B. STEFANOVA, S.SH. TASHPULATOV,
Z.A. SABIROVA, Z.M. AKHMEDOVA*

**(Донской государственный технический университет, Российская Федерация,
Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)**

**(Don State Technical University, Russian Federation,
Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation,
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)**

E-mail: i_sch@mail.ru, ssht61@mail.ru

В статье представлены результаты исследования микроструктуры современных утепляющих материалов типа "связное полотно", для которых систематизирован и обоснован опорный ассортимент. Установлены структурные характеристики материалов, которые определили связь между диаметром волокна, объемной плотностью и пористостью материалов. Для создания новых поликомпонентных утепляющих материалов с функцией аккумуляции тепла предложен и изучен подход интегрирования полимерных компонентов с фазовым переходом с точки зрения сопряжения их со структурными элементами опорных волокнистых утеплителей. На основе микроструктурных исследований получены 2D- и 3D-характеристики микроструктуры утеплителей, предложен и определен показатель, характеризующий особенности межволоконных полостей пористой структуры на основе параметризации ее профилей с учетом толщины материалов.

The article presents the results of the study of the microstructure of modern insulation materials of the "coherent cloth" type, for which the reference assortment is systematized and substantiated. The structural characteristics of materials have

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90324.

* The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 19-38-90324.

been established, which determined the relationship between the fiber diameter, bulk density and porosity of materials. To create new polycomponent insulation materials with the function of heat accumulation, an approach to integrating polymer components with a phase transition has been proposed and studied from the point of view of their conjugation with structural elements of supporting fibrous insulation. On the basis of microstructural studies, 2D- and 3D-characteristics of the microstructure of heaters were obtained, an indicator was proposed and determined that characterizes the features of the interfiber cavities of a porous structure based on the parametrization of its profiles, taking into account the thickness of materials.

Ключевые слова: материал, теплозащитная одежда, утеплитель, волокнистая основа, волокнистая система, объемная плотность, фазовый переход, диаметр волокон, компонент, одежда, полость, соответствие, характеристика.

Keywords: material, heat-protective clothing, insulation, fibrous base, fibrous system, bulk density, phase transition, fiber diameter, component, clothing, cavity, conformity, characteristic.

Для теплозащитной одежды основная функция – тепловая защита человека от холода и поддержка его терморегуляции средствами одежды. Эффективность тепловой защиты обеспечивается не только пассивной теплоизоляцией, но и комбинированными свойствами одежды, в том числе функцией аккумуляции тепла материалами с последующей его отдачей [1], [2]. Данный эффект в одежде может быть достигнут за счет внедрения в структуру утеплителей функциональных компонент из специальных полимеров с фазовым переходом, среди которых существуют материалы, недостаточно изученные и используемые в области текстильного материаловедения и технологий проектирования одежды. Включение дополнительных функциональных компонент в структуру текстильных материалов влечет не только последующее изменение их комплексных свойств, но и требует предварительной оценки структурного сопряжения таких компонент с материалом утеплителя, что требует дополнительных микроструктурных исследований.

Большая часть материалов для теплозащитной одежды представляет собой текстильные волокнистые материалы [3]. Учи-

таявая многообразие природы получения первичных волокон, современные волокнистые материалы представляют большой ассортимент [4], [5]. Он определяется составом, структурой, способом производства, геометрическими, теплофизическими, технологическими, эксплуатационными параметрами. Материалы теплозащитной одежды сформированы в многослойные пакеты [3], которые имеют внутренние слои, сформированные материалами оболочки в систему с относительно постоянным объемом [5], [6], и занимают основную толщину теплозащитной одежды. Поэтому именно объемные теплоизоляционные материалы рассмотрены в качестве волокнистой основы для включения функциональных теплоаккумулирующих компонент в их структуру и формирования поликомпонентных функциональных утеплителей. Для выявления современных тенденций в производстве объемных волокнистых утеплителей для одежды с точки зрения их волокнистой основы был изучен ассортимент соответствующих текстильных материалов, представленный в табл. 1 (характеристики волокнистого состава современных волокнистых объемных утеплителей для одежды [7...9]).

Таблица 1

№ п/п	Наименование материала	Волокнистый состав, %
Тип 1: Связное полотно		
1	Ватин	Хлопок, шерсть, Вис, шерсть+хлопок, шерсть+ПЭ, шерсть+Вис
2	Шерстон	Шерсть-65 + Хлопок-35
3	Синтепон, силиконизированный синтепон	ПЭ, ПЭ+силиконизированные элементы
4	Орсотерм, Termotec®	ПЭ, ПЭ+силиконизированные элементы
5	Файбертек	ПЭ
6	Тинсулейт (Thinsulate)	ПЭ + полиолефиновые волокна
7	Холлофайбер	ПЭ
8	Термофайбер	ПЭ
9	Холлотек	ПЭ+силиконизированные элементы
10	Арктик Флис	ПЭ
11	Войлок	Шерсть
12	Холлофан	ПЭ
13	Термофин	ПЭ (в том числе бикомпонентные)
14	Изософт	ПЭ
15	Термолайт	ПЭ
16	Шелтер	ПЭ
17	Микрофайн ("лебяжий" пух в пластинах)	ПЭ
18	Валтерм (Valtherm)	ПЭ
19	Шерстикрон	ПЭ+ шерсть
20	Primaloft	PRIMALOFT® BIO™ (в том числе ПП)
...	И другие	
Тип 2: Несвязный утеплитель		
21	Смесь перо-пуховая	Пух+перо (водоплавающих птиц)
22	Холлофайбер	ПЭ+силиконизированные элементы
23	Primaloft	PRIMALOFT® P.U.R.E™ (в т.ч. ПП)
24	Термофайбер "Микро"	ПЭ
25	Шелтер	ПЭ
26	Синтепух, Termotec® Air и Termotec® Air Super	ПЭ, ПЭ+силиконизированные элементы
...	И другие	

Условные обозначения волокнистого состава материалов использованы в соответствии с ГОСТ 26623–85 [10]. Анализ современного ассортимента утепляющих материалов [3], [7], [11], [12] показал, что большинство материалов по типу структуры составляют материалы – связные полотна, основанные на полиэфирных волокнах (ПЭ). Опираясь на данные критерии, для исследования микроструктуры воло-

нистых материалов, подлежащих последующей модификации, были выбраны соответствующие образцы: синтепон, термофайбер, холлофайбер, тинсулейт [3], [7], основные технические характеристики которых были определены и представлены в табл. 2 (технические характеристики исследуемых волокнистых утепляющих материалов для одежды).

Таблица 2

№ п/п	Наименование материала	Волокнистый состав, %	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, м
1	Синтепон	ПЭ, 100	300,0	0,0216
2	Термофайбер	ПЭ, 100	100,0	0,0067
3	Холлофайбер	ПЭ, 100	200,0	0,0156
4	Тинсулейт (Thinsulate)	ПЭ-95, полиолефиновые волокна - 5	300,0	0,0252

Поверхностная плотность образцов для исследования была определена в соответствии с ГОСТ3811–72 [13]. Толщина нетканых материалов определялась в соответствии с ГОСТ 12023–2003 [14].

В пределах установленной толщины и с учетом структуры исследуемых полотен для формирования новых поликомпонентных функциональных утеплителей предложен и рассмотрен принцип введения в волокнистую структуру элементов материалов с фазовым переходом, размеры которых должны соотноситься с размерами межволоконных поровых пространств. Межволоконные поровые пространства являются одной из составляющих характеристик пористости волокнистых материалов [15], которая, в свою очередь, относится к структурным характеристикам материала наряду с его объемной плотностью, размерами и порядком расположения волокон в полотне.

С целью определения основных структурных характеристик исследуемых материалов были установлены параметры объемной плотности и пористости в соответствии с ГОСТ 15902.2–2003 [16] и проведены микроструктурные исследования для оценки строения волокнистой системы и параметров элементарных волокон.

Ресурсной базой обеспечения микроструктурных исследований стало оборудование – микроскоп Keyence VHX5000 [17], конструкция объективов которого обеспечивает увеличение от 0,1 до 5000х, а наличие высокочувствительной камеры (камера 3СМОS, 54 Мпикс), высокой скорости обработки графических изображений (запись видео 50 кадр/с) и возможности угла обзора по горизонтали и вертикали до $\pm 89^\circ$ позволили выполнить количественную и качественную оценку изучаемой волокнистой структуры, включая 2D- и 3D-параметризацию с различными освещениями и фильтрами. Бесцветные прозрачные и полупрозрачные образцы, которые встречаются в волокнистых синтетических материалах, возможны к наблюдению с помощью фазово-контрастного режима. На рис. 1 (2D-изображения волокнистой микроструктуры

ПЭ-утеплителей) представлены полученные изображения микроструктуры исследуемых волокнистых утеплителей с данными об измерении диаметров волокон.

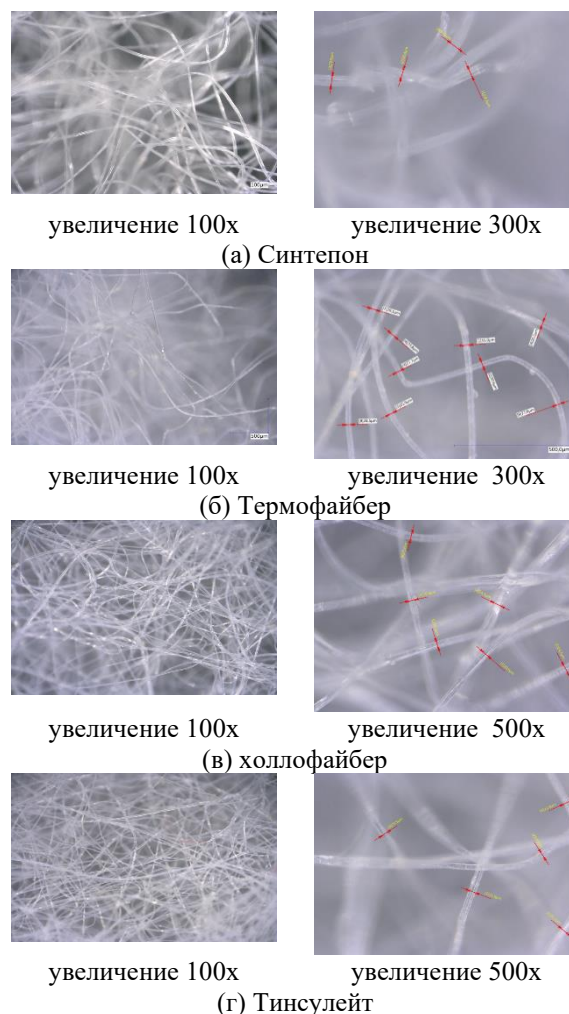


Рис. 1

Обобщенный анализ 2D-изображений микроструктуры волокнистых утеплителей показал, что полиэфирные волокна имеют трубчатую форму. Направление волокон в общем объеме материала – неупорядоченное. При первичном единстве общего подхода организации волокнистой системы в рассматриваемых материалах следует выделить различия в диаметрах волокон: диаметр волокон составляет в среднем от 27,18; 29,02; 22,06; 21,14 мкм соответственно порядку материалов, представленных в табл. 2. В рамках исследования микроструктуры рассматриваемых утеплителей для них была определена пористость,

для чего использованы опорные характеристики образующих материал полиэфирных волокон, имеющих объемную плотность 1380 кг/м^3 в соответствии с ГОСТ Р 56561–2015 [18].

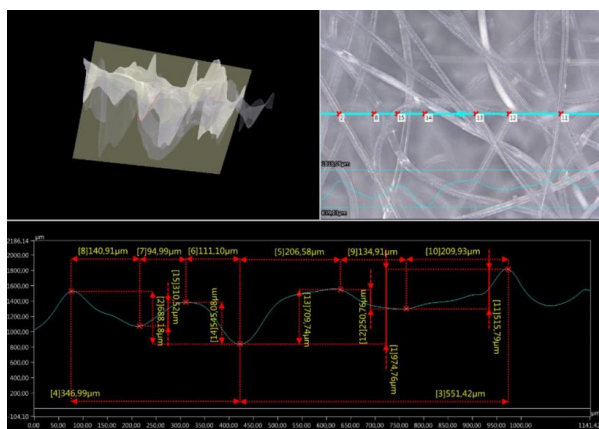


Рис. 2

Анализ установленных микроструктурных характеристик нетканых утеплителей показал, что полученная пористость материалов для всех образцов, изначально выбранных с разной толщиной и поверхностной плотностью, имеет близкие значения (различия составляют порядка 0,2%) и связана со значительным объемом воздуха, сосредоточенного в объеме материалов. Однако для определения параметров интегрируемых теплоаккумулирующих компонент этого недостаточно. Именно геометрические характеристики открытых воздушных полостей в материале представляют отдельный вопрос. С этой целью были получены 3D-изображения микроструктуры исследуемых материалов, на основе которых исследованы многочисленные профили (пример представлен на рис. 2 – профиль микроструктуры термофайбера на основе 3D-анализа), которые были параметризованы, количественно описаны и систематизированы.

В результате обработки полученных данных о глубине профилей, описывающих микроструктуру материалов, их максимальные значения составили 1500; 974; 600; 1000 мкм соответственно порядку представления материалов в табл. 2. Такие углубления являются характеристикой как

общей пористости материалов, так и полостей в толщине материалов, необходимых для решения поставленных задач формирования новых поликомпонентных функциональных утеплителей. Систематизация полученных параметров микроструктуры связанных утеплителей на основе ПЭ - волокон представлена на рис. 3 (сравнительная характеристика микроструктуры связанных утеплителей).

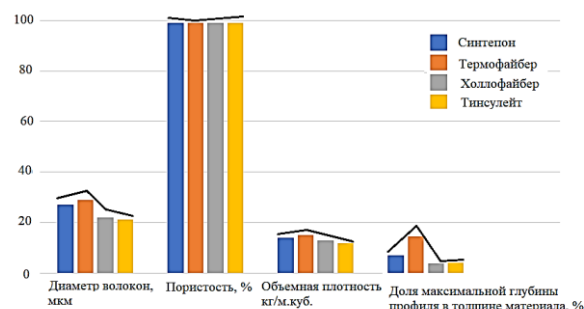


Рис. 3

Анализ полученных данных позволил установить, что с увеличением диаметра волокон наблюдается снижение пористости материалов и увеличение объемной плотности связанных утеплителей соответственно. При этом размеры и концентрация межволоконистых полостей в толщине материалов может быть охарактеризована долей максимальной глубины профиля микроструктуры материала в его исследуемой толщине. Такой показатель позволил установить особенности структуры воздушных полостей, которые на открытых поверхностях при воздействии давления подвергаются деформации и приводят к потере объема и толщины полотна, а полости с аналогичными размерами в более глубоких слоях материала становятся привлекательными для интегрирования в них теплоаккумулирующих компонентов. Результаты систематизации данного показателя позволили установить, что поверхность материалов, имеющих наибольшие параметры пористости и наименьший диаметр волокон соответственно, имеют при этом высокий уровень замкнутости межволоконистых полостей на поверхности, что характеризуют их профили. Однако размеры выявленных по-

лостей таких материалов требуют значительного уменьшения проектируемых размеров компонентов для интегрируемых теплоаккумулирующих материалов, что вносит определенные ограничительные критерии в решение поставленных задач. При этом материалы с максимальными параметрами доли глубины профилей относятся к материалам со сниженной пористостью, но такие материалы обладают заметно увеличенными диаметрами волокон, что позволяет прогнозировать не только большие размеры для функциональных компонент новых материалов, но и большую формоустойчивость таких межволоконистых объемов.

ВЫВОДЫ

Установленные микроструктурные параметры волокнистых утеплителей и полученные зависимости их взаимного влияния являются элементами научно-технического обеспечения процесса проектирования и оценки новых, по своим свойствам, функциональных поликомпонентных материалов для теплозащитной одежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Socaciu L.G. Thermal Energy Storage with Phase Change Material // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. – Vol.20, 2012. P.75...98.
2. Данилин В.Н., Шабалина С.Г. Теплоаккумулирующие материалы на основе высокомолекулярных соединений // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. – 2003, № 1. С.7.
3. Черунова И.В. Новые технологии расчета конструкций теплозащитной одежды // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2009, № 2. С.51...54.
4. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – № 2 (380), 2019. P. 95...101.
5. Cherunova I.V., Kovaleva A.A., Nazarenko E.V. Experimental Evaluation of Thermal Protection Properties of Volume Textile Materials // Materials Science Forum. – Vol. 992, 2020 P. 916...921. - URL: <https://www.scientific.net/MSF.992.916.pdf>
6. Cherunova I.V., Kolesnik, S.A., Kurenova S.V., Ermina Yu.V., Merkulova A.V., Cherunov P.V. Study of the structural and acoustic properties of clothing materials

for thermal protection of human // International Journal of Applied Engineering Research. – Vol.10, №19, 2015. P. 40506...40512.

7. Смирнова Н.А., Белгородский В.С., Сурженко Е.Я. Выбор материалов для конкурентоспособной одежды с оптимальным сочетанием цены и качества. - Научное обозрение. Сер-1: Экономика и право. – 2012, № 6. С.165...172.

8. Фаткуллина Р.Р., Зиятдинова Д.Р., Абуталипова Л.Н. Концепция информационной базы для выбора свойств полимерно-текстильных материалов в соответствии с ассортиментом изделий легкой промышленности // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2011. Т.1, № 2. С.74...79.

9. Вилкова А.Н., Богданов В.Ф., Колесник С.А., Романенко В.И., Бринк И.Ю. Исследование зависимости релаксационных свойств пуха от температуры // Инженерный вестник Дона. – 2018, №1. URL.: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4673>.

10. ГОСТ 26623–85. Материалы и изделия текстильные. Обозначения по содержанию сырья. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

11. Литунов С.Н., Немирова Л.Ф., Сысеев И.А., Ташпулатов С.Ш., Черунова И.В., Гребенников И.О., Колтаков З.М. Оценка удерживающей способности фильтрующего материала методами денситометрии // Мат. 10-й Международ. науч.-техн. конф.: Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства, (26–29 февр. 2020 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. С.258. - URL: http://oge.omgtu.ru/2020/files/t_OGE2020.pdf.

13. ГОСТ 3811–72. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей (с Изменениями № 1-4). – М.: Изд-во стандартов, 2003.

14. ГОСТ 12023–2003 (ИСО 5084:1996) Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. – М.: Изд-во стандартов, 2004.

15. Корчагина О.А., Однолько В.Г. Теплоизоляционные материалы. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004.

16. ГОСТ 15902.2–2003 (ИСО 9073-2:1995) Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик (с Поправкой) М.: Изд-во стандартов, 2004.

17. Цифровой оптический микроскоп VHX5000 Keyence. – URL: https://semia.ru/catalog/tsifrovyye_mikroskopu_keyence/tsifrovoy_opticheskiy_mikroskop_vhx5000_keyence/

18. ГОСТ Р 56561–2015/ISO/TR 11827:2012. Материалы текстильные. Определение состава. Идентификация волокон. – М.: Стандартинформ, 2016.

REFERENCES

1. Socaciu L.G. Thermal Energy Storage with Phase Change Material // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. – Vol.20, 2012. P.75...98.

2. Danilin V.N., Shabalina S.G. Teploakkumuliruyushchie materialy na osnove vysokomolekulyarnykh soedineniy // Fiziko-khimicheskiy analiz svoystv mnogokomponentnykh sistem. – 2003, № 1. S.7.
3. Cherunova I.V. Novye tekhnologii rascheta konstruktivnykh teplozashchitnoy odezhdy // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2009, № 2. S.51...54.
4. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. – № 2 (380), 2019. P. 95...101.
5. Cherunova I.V., Kovaleva A.A., Nazarenko E.V. Experimental Evaluation of Thermal Protection Properties of Volume Textile Materials // Materials Science Forum. – Vol. 992, 2020 P. 916...921. - URL: <https://www.scientific.net/MSF.992.916.pdf>
6. Cherunova I.V., Kolesnik, S.A., Kurenova S.V., Eremina Yu.V., Merkulova A.V., Cherunov P.V. Study of the structural and acoustic properties of clothing materials for thermal protection of human // International Journal of Applied Engineering Research. – Vol.10, №19, 2015. P. 40506...40512.
7. Smirnova N.A., Belgorodskiy V.S., Surzhenko E.Ya. Vybory materialov dlya konkurentosposobnoy odezhdy s optimal'nym sochetaniem tseny i kachestva. - Nauchnoe obozrenie. Ser-1: Ekonomika i pravo. – 2012, № 6. S.165...172.
8. Fatkullina R.R., Ziyatdinova D.R., Abutalipova L.N. Kontseptsiya informatsionnoy bazy dlya vybora svoystv polimerno-tekstil'nykh materialov v sootvetstvii s assortimentom izdeliy leg-koy promyshlennosti // Nizkotemperaturnaya plazma v protsessakh naneseniya funktsional'nykh pokrytiy. – 2011. T.1, № 2. S.74...79.
9. Vylkova A.N., Bogdanov V.F., Kolesnik S.A., Romanenko V.I., Brink I.Yu. Issledovanie zavisimosti relaksatsionnykh svoystv pukha ot temperatury // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2018, №1. URL.: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4673>.
10. GOST 26623–85. Materialy i izdeliya tekstil'nye. Oboznacheniya po sodержaniyu syr'ya. – M.: Izd-vo standartov, 2003.
11. Litunov S.N., Nemirova L.F., Sysuev I.A., Tashpulatov S.Sh., Cherunova I.V., Grebennikov I.O., Kolpakov Z.M. Otsenka uderzhivayushchey sposobnosti fil'truyushchego materiala metodov densitometrii // Mat. 10-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.: Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva, (26–29 fevr. 2020 g.). – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2020. S.258. - URL: http://oge.omgtu.ru/2020/files/t_OGE2020.pdf.
13. GOST 3811–72. Materialy tekstil'nye. Tkani, netkanye polotna i shtuchnye izdeliya. Metody opredeleniya lineynykh razmerov, lineynoy i poverkhnostnoy plotnostey (s Izmeneniyami № 1-4). – M.: Izd-vo standartov, 2003.
14. GOST 12023–2003 (ISO 5084:1996) Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nikh. Metod opredeleniya tolshchiny. – M.: Izd-vo standartov, 2004.
15. Korchagina O.A., Odnol'ko V.G. Teploizolyatsionnye materialy. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2004.
16. GOST 15902.2–2003 (ISO 9073-2:1995) Polotna netkanye. Metody opredeleniya strukturnykh kharakteristik (s Popravkoy) M.: Izd-vo standartov, 2004.
17. Tsifrovoy opticheskiy mikroskop VHX5000 Keyence. – URL: https://semia.ru/catalog/tsifrovye_mikroskopy_keyence/tsifrovoy_opticheskiy_mikroskop_vhx5000_keyence/
18. GOST R 56561–2015/ISO/TR 11827:2012. Materialy tekstil'nye. Opredelenie sostava. Identifikatsiya volokon. – M.: Standartinform, 2016.

Рекомендована кафедрой технологии швейных изделий ТИТЛП. Поступила 01.06.20.