

**ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ  
ДВУХСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН  
ИЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ НИТЕЙ**

**EVALUATION OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES  
OF TWO-LAYER KNITTED FABRICS FROM MODIFIED POLYESTER THREADS**

*Н.Н. ЯСИНСКАЯ, Н.В. СКОБОВА*

*N.N. YASINSKAYA, N.V. SKOBOVA*

(Витебский государственный технологический университет, Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru, skobova-nv@mail.ru

*В статье представлены результаты исследований функциональных свойств двухслойных трикотажных полотен комбинированных переплетений, при вязании которых использовались две системы нитей: одна для образования слоя из модифицированных полиэфирных нитей, другая из традиционных полиэфирных нитей. С применением метода Думанского и Острикова изучена пористость трикотажных полотен, от которой зависит поведение материалов при воздействии влаги и тепла. В результате анализа кривых распределения установлен большой разброс пор по размерам – 5...700 мкм, наиболее многочисленная группа пор размером 22...45 мкм.*

*Установлено, что полотна, содержащие микрофиламентные нити Soft, имеют показатель гигроскопичности на уровне хлопковых волокон 8,5...9,0% и воздухопроницаемость 500...600  $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ , что позволяет рекомендовать их для использования в качестве внутреннего слоя при производстве одежды. Показано значительное снижение теплопроводности двухслойных трикотажных полотен при использовании в качестве составляющей двухслойной структуры терморегулирующих полиэфирных нитей Thermo. Для образцов, содержащих быстроотводящие влагу нити QuickDry, на сорбционной кривой можно выделить период поглощения влаги поверхностью нитей и период медленной диффузии влаги по разветвленной сети мелких пор (5...10 мкм), образованных пустотами между профилированными и гладкими элементарными нитями в структуре комплексной нити QuickDry.*

*The article presents the results of research on the properties of two-layer knitted fabrics of combined weaves, which were knitted using two thread systems: one for the formation of a layer of modified polyester threads, the other of excluded polyester threads. Using the method of Dumansky and Ostrikov, the porosity of knitted fabrics was studied, which determines the ratio of materials to moisture and heat. As a result of the analysis of distribution curves, a large spread of pores in size was established - 5-700 microns, the most numerous group of pores with a size of 22-45 microns. It has been established that fabrics containing Soft microfilament threads have a hygroscopic index at the level of cotton fibers of 8,5-9.0% and breathability of 500-600  $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ , which allows them to be recommended for use as an inner layer in the production of clothing. A significant decrease in the thermal conductivity of two-layer knitted fabrics is shown when Thermo thermoregulating polyester threads are used as a component of the two-layer structure. For samples containing quick*

*moisture-removing Quick Dry threads, the sorption curve shows a period of moisture absorption by the surface of the threads, and a period of slow diffusion of moisture through a branched network of small pores (5–10 μm) formed by voids between profiled and smooth elementary threads in the structure of the complex Quick Dry thread.*

**Ключевые слова:** модифицированные полиэфирные нити, двухслойный трикотаж, пористость, гигроскопичность, воздухопроницаемость, теплопроводность, сорбция.

**Keywords:** modified polyester threads, two-layer knitwear, porosity, hygroscopicity, air permeability, thermal conductivity, sorption.

### *Введение*

Актуальность производства высококачественных многофункциональных текстильных материалов, которые обладают комплексными свойствами, одновременно удовлетворяют множеству требований, часто противоречащих друг другу, в настоящее время не вызывает сомнений. Это обусловлено тем, что использование материалов и изделий специального назначения в различных условиях внешней среды требует обеспечения высокого уровня защиты и комфорта. Самой распространенной и экономически выгодной технологией придания текстильным материалам многофункциональности является комбинация слоев различных по свойствам материалов и соединение в единое целое подходящим способом, которые выбираются с учетом назначения конечного продукта [1].

Существует ряд способов, позволяющих осуществлять последовательное наложение текстильных структур [2]: ниточный или сварной, клеевой, прошивной, нанесение полимерного покрытия, огневой и другие. В зависимости от свойств, структуры исходных материалов и способа соединения многофункциональные полотна и изделия обладают определенным набором характеристик. Проектирование специальных материалов с заданными свойствами является сложной задачей из-за ограниченного набора стандартов и различных требований в зависимости от потребностей [3].

Перспективным направлением создания многофункциональных материалов является двухслойный трикотаж, позволяющий путем сочетания различных по свойствам

нитей и переплетений получать структуры с заданными свойствами. Интерес представляет использование в структуре трикотажа новых видов модифицированных полиэфирных нитей отечественного производства (ОАО «Светлогорскхимволокно», Республика Беларусь), таких, как быстроотводящие влагу Quick Dry, микрофиламентные Soft, терморегулирующие Thermo, отражающие ИК-излучение CoolBlack. Двухслойные трикотажные структуры, полученные из модифицированных нитей, могут использоваться индивидуально, а также дублироваться с тканями и неткаными материалами [4...6].

На сегодняшний день свойства этих нитей и многослойных трикотажных структур из них изучены недостаточно, что ограничивает возможности использования для материалов и изделий с уникальными свойствами. Поэтому целью работы является исследование и оценка функциональных свойств двухслойных трикотажных полотен комбинированных переплетений, при вязании которых использовались две системы нитей: одна для образования слоя из модифицированных нитей, другая из традиционных полиэфирных нитей, слои соединялись между собой соединительными набросками.

### *Объект и методы исследования*

Исследуемые трикотажные полотна разработаны на двухфонтурной кругловязальной машине 18 класса комбинированным переплетением на базе ластика. На иглы верхней игольницы прокладывались текстурированные функциональные нити следующих видов: с функцией управления

влаги Quick Dry линейной плотности 18,7 текс (f144), микрофиламентные нити Soft 16,7 текс (f288), полые нити Thermo 16,7 текс (f96); на иглы нижней игольницы – традиционная текстурированная полиэфирная нить PEC 16,7 текс (f48) (рис. 1 – фотография поверхности полотна).

Структурные показатели полученных полотен представлены в табл. 1. Полотна имеют близкие значения длины нити в петле и плотность вязания, так как выраба-

тывались с одинаковыми параметрами заправки на одном оборудовании.

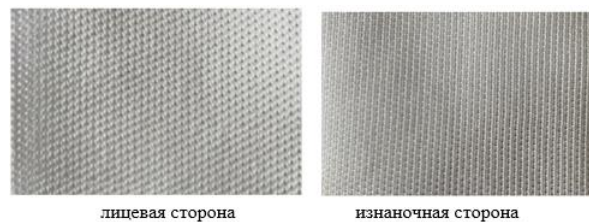


Рис. 1

Т а б л и ц а 1

Показатели	Quick/PEC	Thermo/PEC	Soft/PEC	PEC/PEC
Плотность по горизонтали, пет.	90	93	95	96
Плотность по вертикали, пет.	100	100	100	100
Длина нити в петле, мм	4,69	4,51	4,53	4,46
Толщина, мм	1,14	1,12	1,11	1,23
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	248	230	250	260

Пористость двухслойных структур измеряли по методу Думанского и Острикова, основанному на определении содержания (в %) этилового спирта на разных высотах полоски текстильного материала и количестве его распределении по образцам [7], [8]. Зная это распределение и определив по закону капиллярного поднятия средние радиусы капилляров различных групп (фракций), соответствующих определенному интервалу высот, можно подсчитать число, площадь сечения и объем капилляров каждой группы. Средний радиус капилляров каждой группы рассчитывали по формуле

$$r = \frac{2\sigma}{h\gamma g}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;  $h$  – средняя высота данного деления, м;  $\gamma$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести.

Воздушные каналы капиллярно-пористых тел могут быть закрытыми и открытыми, причем их соотношение в структуре материала может быть различным [8], [9], [10], [11]. Общая пористость состоит из пор внутри волокон, капилляров между волокнами и нитями в структуре трикотажного полотна, находится при суммировании вкладов всех пор, содержащихся в материале.

Особенностью рассматриваемых двухслойных трикотажных полотен из модифицированных текстурированных полиэфирных нитей является значительная вытянутость, извилистость и многоканальная структура элементарных нитей, из которых они изготовлены. Если собственную пористость элементарной полиэфирной нити не учитывать, то можно считать все капилляры и поры открытыми для насыщения и определение пористости капиллярным методом обоснованным.

Из работ, базирующихся на изучении фракционного состава капилляров определенного радиуса, применим уравнение Думанского и Острикова для расчета площади сечения капилляров, отвечающей средней высоте каждого деления:

$$S_n = \sum S_n - \sum S_{n+1} = \frac{P_n - P_{n+1}}{\gamma \cdot \Delta h}. \quad (2)$$

Так как при вычислении площади сечения капилляров количество спирта относят к единице длины полоски трикотажа, то объем капилляров каждой группы будет численно равен соответствующей площади.

Для исследования воздухопроницаемости руководствовались ГОСТ 12088-77. Испытания проводили на приборе ВПТМ-2.

Определение теплофизических характеристик исследуемых образцов проводили по методу регулярного теплового режима

при постоянных значениях температуры окружающего воздуха и коэффициента теплоотдачи с поверхности материала в интервале перепадов температур 55-45°C при среднем перепаде, равном 50°C. Абсолютные значения температуры воздуха в помещении составляли 22°C, относительная влажность воздуха (65±5)%.

Измерения проводили на установке для определения теплозащитных свойств пакетов текстильных материалов по методу регулярного режима (рис. 2, а). За основу разработки прибора взят ГОСТ 20489-75 «Метод определения суммарного теплового сопротивления».

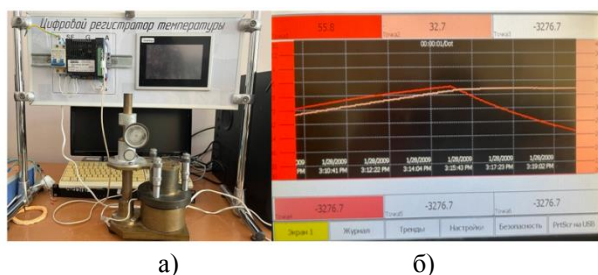


Рис. 2

Нагревание пластины прибора с пробой производится до достижения перепада температур 60°C (разности температуры пластины и воздушного потока), после чего электронагреватель отключается от сети и включается вентилятор (при испытании пробы в условиях воздушного потока). Для выравнивания температурного поля пластина прибора охлаждается до перепада температур 55°C, после этого включается секундомер и фиксируется время охлаждения пластины до перепада температур 45°C (рис. 2, б).

По результатам замеров рассчитывают коэффициент теплопроводности  $\lambda$ :

$$\lambda = f\delta \left( A + \frac{1}{3} C\gamma\delta \right) m - K, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент рассеяния (для образцов толщиной менее 5 мм равен 0,96, более – 0,95);  $A$  – постоянная прибора, характеризующая теплоемкость сердечника, площадь его поперечного сечения и теплоемкость теплоизоляционного слоя:  $A=23800$ ;  $K$  – по-

стоянная прибора, характеризующая теплопередачу теплоизоляционного слоя:  $K=2,9$ ;  $C$  – удельная теплоемкость образца, Дж/кг·°C;  $\gamma$  – объемная масса образца, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – толщина образца, м;  $m$  – темп охлаждения сердечника, с<sup>-1</sup>.

Темп охлаждения сердечника  $m$  вычисляется:

$$m = \frac{\ln\theta_1 - \ln\theta_2}{\Delta\tau}, \quad (4)$$

где  $\theta_1, \theta_2, ^\circ\text{C}$  – значения температуры внутренней поверхности образца на границах заданного интервала перепада температур (55 и 45°C), измеренные датчиком температуры;  $\Delta\tau, \text{с}$  – время остывания пластины прибора в заданном интервале перепадов температур (определяют по графику).

Гигроскопичность материалов оценивали по ГОСТ 3816-81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств».

#### Результаты и обсуждения

Пористость является одним из важнейших свойств текстильных материалов, которым определяется ряд их физических свойств: способность к поглощению жидкостей, набуханию, транспорту влаги и тепла, воздухопроницаемости. Общая пористость трикотажного полотна включает: микропоры, радиус которых меньше 0,1 мкм, образованные пустотами между элементарными нитями в структуре нити, и макропоры, радиус которых более 0,1 мкм, являющиеся следствием пустот между текстильными нитями. Воздухопроницаемость зависит от макропористости; капиллярные свойства зависят от микропористости; теплофизические свойства и паропроницаемость текстильного материала зависят как от микро-, так и от макропористости [8], [9], [11].

Анализ кривых распределения пор по размерам (рис.3) показал, что полученные образцы трикотажных полотен, несмотря на выработку при одинаковой заправке и близких линейных плотностях используемых нитей, имеют различную пористость, состоящую из макропор. Отсутствие пор

размером менее 0,1 мкм связано с объемной, рыхлой структурой текстурированных нитей, в которых элементарные нити имеют значительную извитость. Наиболее многочисленная группа пор размером 22-35 мкм отмечается у двухслойного образца Soft/PEC, выработанного из микрофиламентной нити, также высокая доля пор размером 30-45 мкм наблюдается у полотна Quick/PEC, имеющего в структуре нить с функцией управления влаги. Для полотна из традиционной полиэфирной нити PEC/PEC относительная доля пор 45-70 мкм в два раза меньше в сравнении с образцом Soft/PEC. Для образца Thermo/PEC с использованием полой нити многочисленная группа пор имеет размер 35-60 мкм. Следует также отметить наличие пор с радиусом капилляров 5-10 мкм и макропор 550-700 мкм у образца Quick/PEC.

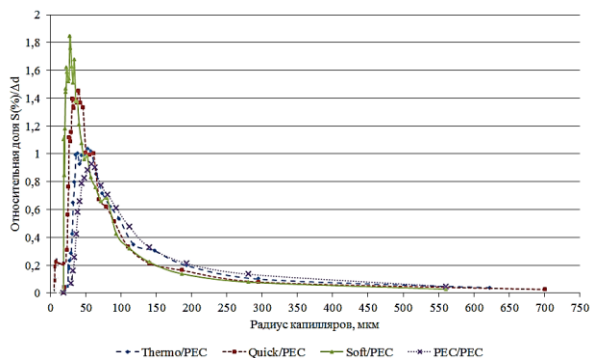


Рис. 3

При одном и том же количестве воздуха в материале он может по-разному в нем размещаться (в больших порах или малых, замкнутых или сообщающихся между собой и окружающей атмосферой), от этого зависит воздухопроницаемость полотен. Воздухопроницаемость двухслойных материалов представлена на рис. 4. Как видно, самое низкое значение коэффициента воздухопроницаемости имеют полотна Soft/PEC. Это связано с большой долей пор малых размеров из-за микрофиламентности нити Soft, полотна имеют более наполненную структуру [11].

Оценка коэффициента теплопроводности (рис. 5) показывает, что благодаря наличию воздушного канала в структуре элементарных нитей Thermo образец

Thermo/PEC имеет более высокие теплозащитные свойства. В работе [12] показано, что с увеличением размера пор значение коэффициента теплопроводности возрастает.

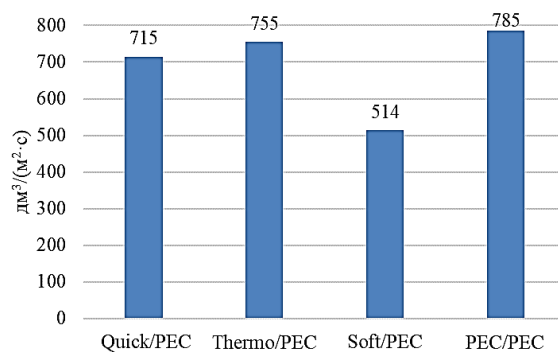


Рис. 4

Как известно [10], [11], теплофизические свойства волокнистых материалов зависят как от объема воздуха, заключенного в порах материала, так и от его равномерного распределения.

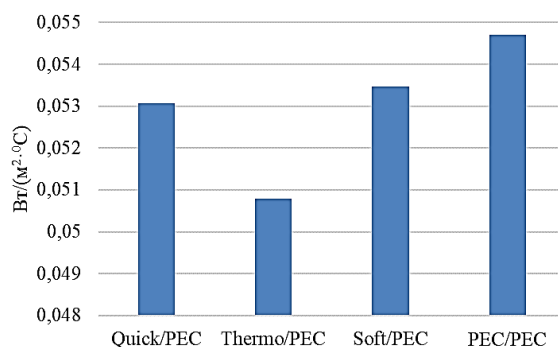


Рис. 5

Согласно данным, представленным на рис. 3, образец Soft/PEC имеет многочисленную группу пор с малым размером, однако его теплопроводность незначительно отличается от образца PEC/PEC. В комплексной нити Soft с повышенным содержанием элементарных нитей (f288) увеличивается доля твердой фазы и число контактов между элементарными нитями, что приводит к образованию «мостиков холода» – зон повышенной теплопередачи, коэффициент теплопроводности возрастает. Двухслойный материал PEC/PEC имеет худшие теплозащитные свойства, что обусловлено наличием большого числа

сквозных пор ввиду малого числа филаментов в структуре нити (f 48), что увеличивает вклад конвективной составляющей в общую теплопроводность.

Гигроскопичность полученных образцов различна (рис. 6). Как видно, слой из микрофиламентных нитей Soft значительно повышает гигроскопические свойства двухслойного трикотажа Soft/PEC, приближая этот показатель к значениям для материалов из хлопковых волокон – 8,5-9,0%. Несмотря на особую многоканальную структуру быстровпитывающих нитей Quick Dry их присутствие в двухслойном полотне обеспечивает гигроскопичность незначительно выше традиционных полиэфирных нитей, гигроскопичность для образца Quick/PEC составляет 3,5-4 %.

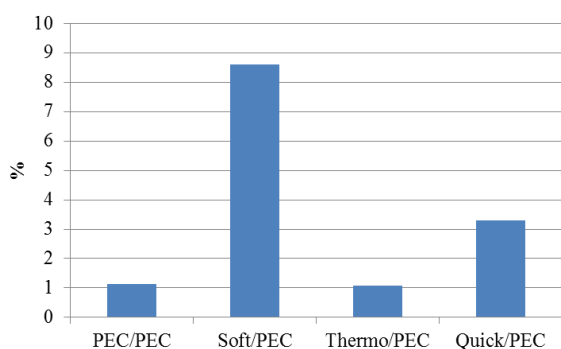


Рис. 6

Кривые сорбции водяных паров (рис. 7) показывают, что на первом этапе поглощение влаги и образование на поверхности волокон полимолекулярной пленки происходит одинаково быстро для всех образцов двухслойных полотен. После насыщения поверхности элементарных нитей водяными парами и капиллярной конденсации поглощение влаги прекращается, наступает сорбционное равновесие для всех образцов за исключением полотна Quick/PEC. Для образцов Quick/PEC на сорбционной кривой можно выделить два периода. Первый – поглощение влаги поверхностью нитей, второй – медленная диффузия влаги по разветвленной сети мелких пор (5-10 мкм), образованных пустотами между профилированными и гладкими элементарными нитями в структуре комплексной нити Quick

Dry. Сорбция до равновесного состояния продолжается 15 часов.

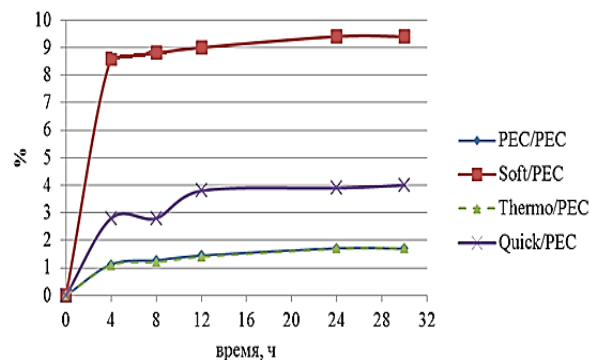


Рис. 7

## ВЫВОДЫ

Изучены функциональные свойства двухслойных трикотажных полотен комбинированных переплетений, при вязании которых использовались две системы нитей: одна для образования слоя из модифицированных нитей, другая из традиционных полиэфирных нитей. Установлено, что полотна Soft/PEC имеют требуемые показатели гигроскопичности и воздухопроницаемости и могут быть рекомендованы для использования в качестве внутреннего слоя при производстве одежды. Показано значительное снижение теплопроводности двухслойных трикотажных полотен при использовании в качестве составляющей при формировании двухслойной структуры модифицированных полиэфирных нитей Thermo. Для образцов Quick/PEC на сорбционной кривой можно выделить два периода: поглощение влаги поверхностью нитей и медленная диффузия влаги по разветвленной сети мелких пор.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Композиционные текстильные материалы. Витебск: ВГТУ, 2016.
2. Усманова Э.Д., Усманов И.В. Способы получения многофункциональных текстильных материалов с различными полимерными покрытиями // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 11. С. 283...284.
3. Ясинская Н.Н., Мурычева В.В. Разработка алгоритма проектирования и процесса формирования

слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2019. Т. 43. № 1. С. 71...75.

4. *Власенко В.И., Ковтун С.И., Березненко Н.П.* Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов // Технический текстиль. 2005. № 12. С. 23...25.

5. *Ковтун С.И., Власенко В.И., Кучеренко В.И.* Использование нетканых материалов в многослойных текстильных композитах // Новые технологии переработки пластмасс. Информационный портал Polymer.ru. – [http://www.polymer.ru/letter.php?n\\_id=389&cat\\_id=3](http://www.polymer.ru/letter.php?n_id=389&cat_id=3).

6. *Bipin Kumar, Viraj Somkuwar.* Introductory Chapter: Functional Textiles // Published: December 22nd, 2021 / DOI: 10.5772/intechopen.100212. <https://www.intechopen.com/chapters/78878>.

7. *Скобова Н.В., Ясинская Н.Н.* Исследование транспорта влаги в двухслойных трикотажных структурах из полиэфирных нитей под действием внешней нагрузки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6. С. 39...45.

8. *Браславский В.А.* Капиллярные процессы в текстильных материалах. М.: Легпромбытиздат, 1987. 112 с.

9. *Трещалин Ю.М.* Анализ структуры и свойств нетканых материалов. М.: Изд-во «БОС», 2016.

10. *Ramratan Guru, Anupam Kumar, Rohit Kumar.* Functional Textile for Active Wear Clothing // Submitted: January 11th, 2021 Reviewed: March 1st, 2021 Published: May 12th, 2021 / DOI: 10.5772/intechopen.96944. <https://www.intechopen.com/chapters/75976>.

11. *Шустов Ю.С.* Основы текстильного материаловедения. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2017.

12. *Воробьев Н.Н., Баринов Д.Я., Зувев А.В., Пахомкин С.И.* Расчетно-экспериментальные исследования эффективной теплопроводности волокнистых материалов // Труды ВИАМ. 2021. №7 (101). С. 95...102.

## REFERENCES

1. *Yasinskaya N.N.* Composite textile materials: monograph / N.N. Yasinskaya, V.I. Olshansky, A.G. Kogan. Vitebsk: VGTU, 2016.

2. *Usmanova E.D.* Methods for obtaining multifunctional textile materials with various polymer coat-

ings / E.D. Usmanova, I.V. Usmanov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. No. 11. P. 283...284.

3. *Yasinskaya N.N.* Development of a design algorithm and the process of formation of layered textile materials for decorative and finishing purposes / N.N. Yasinskaya, V.V. Murycheva // Izvestiya vuzov. Technology of Light Industry. 2019. T.43. No. 1. S. 71...75.

4. *Vlasenko V.I.* Possibilities of using multilayer multifunctional textile composites / V.I. Vlasenko, S.I. Kovtun, N.P. Bereznenko // Technical Textile. 2005. No. 12. S. 23...25.

5. *Kovtun S.I.* The use of non-woven materials in multilayer textile composites / S.I. Kovtun, V.I. Vlasenko, V.I. Kucherenko // New technologies for processing plastics. Information portal Polymer.ru. [http://www.polymer.ru/letter.php?n\\_id=389&cat\\_id=3](http://www.polymer.ru/letter.php?n_id=389&cat_id=3).

6. *Bipin Kumar, Viraj Somkuwar.* Introductory Chapter: Functional Textiles // Published: December 22nd, 2021 / DOI: 10.5772/intechopen.100212. <https://www.intechopen.com/chapters/78878>.

7. *Skobova N.V., Yasinskaya N.N.* Investigation of moisture transport in two-layer knitted structures made of polyester yarns under the action of an external load // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). Pp. 39-45.

8. *Braslavsky V.A.* Capillary processes in textile materials / V.A. Braslavsky. – Moscow: Legprombytizdat, 1987. 112 p.

9. *Treshchalin Yu.M.* Analysis of the structure and properties of non-woven materials / Yu.M. Treshchalin. Moscow: BOS Publishing House 2016. 192 p.

10. *Ramratan Guru, Anupam Kumar, Rohit Kumar.* Functional Textile for Active Wear Clothing // Submitted: January 11th, 2021 Reviewed: March 1st, 2021 Published: May 12th, 2021/ DOI: 10.5772/intechopen.96944. <https://www.intechopen.com/chapters/75976>.

11. *Shustov Yu.S.* Fundamentals of textile materials science / Yu. S. Shustov. Moscow: MSTU im. A.N. Kosygina, 2017. 302 p.

12. *Vorobyov N.N., Barinov D.Ya., Zuev A.V., Pahomkin S.I.* Computational and experimental studies of the effective thermal conductivity of fibrous materials // Proceedings of VIAM. No. 7 (101). 2021. S. 95-102.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий ВГТУ. Поступила 11.05.23.