

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОРЕГУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

## STUDY OF MOISTURE-REGULATING PROPERTIES OF DOUBLE-LAYER KNITTED STRUCTURES FOR FUNCTIONAL CLOTHING

УДК 677.017.8

Н.В. Скобова\*, Н.Н. Ясинская, А.С. Воробьева

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-49-58>

N. Skobova\*, N. Yasinskaya, A. Vorobyova

Vitebsk State Technological University

## РЕФЕРАТ

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НИТИ, ВЛАГОПЕРЕНОС, ПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ, ПАРОЕМКОСТЬ, СКОРОСТЬ ДИФфуЗИИ, КРИВЫЕ СКОРОСТИ СУШКИ

Влагорегулирующие свойства трикотажных полотен являются важными факторами, определяющими не только комфорт, но и характеристики функциональной одежды. Двухслойные трикотажные полотна используются из-за их уникальных транспортных свойств, таких как паропроницаемость, воздухопроницаемость, свойства влагопереноса. Целью исследования является сравнительная оценка влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных материалов, отличающихся функциональностью применяемых нитей.

Разработаны двухслойные трикотажные структуры комбинированного переплетения на базе ластика на двухфонтурной кругловязальной машине с использованием в одном из слоев функциональных нитей: с функцией управления влаги, микрофиламентной полиэфирной нити (Quick Dry линейной плотности 18,7 **текс** (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 **текс** (f288)). Проведены исследования паропроницаемости и пароемкости полотен гравиметрическим методом. Кинетические кривые поглощения паров воды показали, что на начальном этапе исследований высокую скорость поглощения паров за короткий промежуток времени имеют полотна с вложением микрофиламентной нити. Получены теоретико-экспериментальные зависимости паропроницаемости полотен от времени

## ABSTRACT

FUNCTIONAL THREADS, MOISTURE TRANSFER, VAPOR PERMEABILITY, VAPOR CAPACITY, DIFFUSION RATE, DRYING RATE CURVES

The moisture-regulating properties of knitted fabrics are important factors that determine not only comfort, but also the characteristics of functional clothing. Double-layer knitted fabrics are used because of their unique transport properties such as vapor permeability, breathability, moisture transfer properties. Double-layer knitted structures of a combined weave based on an eraser were developed on a double-loop circular knitting machine using functional threads in one of the layers: with a moisture management function, a microfilament polyester thread (Quick Dry with a linear density of 18.7 **tex** (f144), a microfilament Soft thread of 16.7 **tex** (f288)). The vapor permeability and vapor capacity of canvases were studied by the gravimetric method. The kinetic curves of water vapor absorption showed that at the initial stage of research, fabrics with a microfilament thread had a high rate of vapor absorption in a short period of time. Theoretical and experimental dependences of the vapor permeability of fabrics on the time of contact with a source of moisture vapor have been determined. To assess the ability of a two-layer knitted material to conduct moisture through itself, studies were carried out on the evaporation rate of a drop of moisture liquid from the surface of knitted fabrics. It has been determined that the microporous structure of the functional thread layer creates an open evaporation surface area, which reduces the evaporation time; on the curves of the

\* E-mail: skobova-nv@mail.ru (N. Skobova)

контакта с источником паров влаги. Для оценки способности двухслойного трикотажного материала проводить через себя влагу проведены исследования скорости испарения капли жидкости влаги с поверхности трикотажных полотен. Установлено, что микропористая структура слоя из функциональной нити создает открытую площадь поверхности испарения, что сокращает время испарения, на кривых скорости сушки трикотажа с использованием нити *Quick Dry* отмечается наличие второй критической точки, указывающей на испарение адсорбционно связанной влаги из боковых капилляров элементарных нитей, что замедляет процесс испарения. Полученные полотна могут быть рекомендованы для применения в качестве материалов первого и второго слоя одежды.

*drying rate of knitwear using a Quick Dry thread, the presence of a second critical point is noted, indicating the evaporation of adsorption-bound moisture from the side capillaries of elementary filaments, which slows down the evaporation process. The produced fabrics can be recommended for use as materials for the first and second layers of clothing.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одна из задач, стоящих в настоящий момент перед текстильной промышленностью Республики Беларусь – оптимизация ассортимента выпускаемой продукции и улучшение ее качества за счет использования функционального сырья. Это в особенности касается одежды для активного отдыха, внутренней одежды и спортивной одежды.

При изменении физической активности владельца и внешней среды функциональная одежда создает стабильный микроклимат рядом с кожей. Регулирование климата достигается за счет морфологии волокон текстильной структуры материалов [1]. Многослойные трикотажные полотна в отличие от однослойных, подходят для функциональных и технических целей, они чаще используются при производстве готовых изделий из-за их уникальных транспортных свойств, таких как паропроницаемость, воздухопроницаемость, теплопроводность и свойства управления влажностью [2, 3].

Влагорегулирующие свойства (паропроницаемость, диффузия капельной влаги, скорость испарения) трикотажных полотен являются важными факторами, определяющими не только комфорт, но и характеристики функциональной одежды. Комфорт определяется тем, как одежда

взаимодействует с телом в отношении рассеивания тепла и влаги, образующихся в результате метаболических процессов [2]. Для человека, занимающегося обычной повседневной деятельностью в помещении, затрачиваемая энергия составляет  $50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ч}$ . Образовавшееся метаболическое тепло легко рассеивается через одежду в виде пота [4].

В состоянии покоя тело выделяет около  $60 \text{ мл}$  водяного пара в час в условиях окружающей среды. Умеренная нагрузка (ходьба) увеличит количество примерно до  $450 \text{ мл}$  в час. Во время спортивной деятельности, например, езды на велосипеде, метаболическое тепло увеличивается в шесть раз, а выделение пота увеличивается в 14 раз ( $840 \text{ мл}$ ). Во время потоотделения влага человеческого тела более или менее поглощается текстильной одеждой. Если влага остается в ткани и не транспортируется на поверхность для испарения, охлаждение не может происходить. Тело нагревается и выделяется еще больше пота.

Таким образом, материал, контактирующий с кожей, должен обладать двумя важными свойствами: первоначальным – паропроницаемостью и воздухопроницаемостью, вторичным – высокими транспортными свойствами для передачи впитанной влаги в атмосферу и создания

комфортных условий для пользователя [5].

Целью исследования является сравнительная оценка влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных материалов, отличающихся функциональностью применяемых нитей.

**Объект исследований**

На кафедре экологии и химических технологий ведется работа по получению трикотажных армирующих структур для производства одежды для активного отдыха с заданными функциональными свойствами [6].

Разработаны двухслойные трикотажные структуры комбинированного переплетения на базе ластика на двухфонтурной кругловязальной машине с использованием в его структуре функциональных нитей производства ОАО «СветлогорскХимволокно» [7, 8]. На иглы верхней игольницы прокладывались функциональные нити (Quick Dry линейной плотности 18,7 *текс* (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 *текс* (f288)), на иглы нижней – традиционная полиэфирная нить PEC 16,7 *текс* (f48). Для сравнения нарабатывали контрольный образец из традиционной полиэфирной нити в двух слоях. В результате получены варианты:

– образец Quick Dry/PEC с содержанием в одном из слоев функциональной нити Quick Dry, имеющей в своей структуре элементарные нити с тетраканальным профилем поперечного сечения, во втором слое – традиционной полиэфирной нити (PEC);

– образец Soft/PEC с содержанием в одном слое микрофиламентной нити Soft (линейная плотность элементарной нити (ЭН) 0,058 *текс*), во втором – традиционной полиэфирной нити (PEC);

– образец PEC/PEC – два слоя сформированы из полиэфирной нити PEC.

Слои соединялись соединительными накидами, расположенными в шахматном порядке. Такая структура позволяет получить трикотажное полотно с четким разделением функциональных слоев.

Полотна имели разную толщину и близкую поверхностную плотность (таблица 1). Более пористую структуру, согласно расчету, имеет образец PEC/PEC.

**Методы исследований**

Для определения паропроницаемости и пароёмкости полотен использован гравиметрический метод, реализованный с помощью испытательного комплекта Sampler-2000, прилагающегося к анализатору влажности Radwag M-50.

При изучении диффузии паров через двухслойную структуру полотна образец располагали функциональным слоем вниз, ближе к источнику капельной влаги (моделирование контакта с телом человека). По результатам проведения испытаний рассчитывали:

– коэффициент паропроницаемости, *мг/см²·ч*

$$MVTR = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot t} , \quad (1)$$

где *m<sub>1</sub>* – начальная масса дистиллированной воды в чаше, *мг*; *m<sub>2</sub>* – конечная масса дистиллированной воды в чаше, *мг*; *S* – площадь поверхности образца, *см²*; *t* – время испытания, *ч*;  
– относительную паропроницаемость, %:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_{01} - m_{02}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

Таблица 1 – Структурные характеристики трикотажных полотен

Образец	Длина нити в петле, мм	Объемная плотность образца, мг/мм³	Толщина, мм	Поверхностный модуль петли
Образец Quick Dry/PEC	4,6	0,240	1,14	0,372
Образец Soft/PEC	4,53	0,246	1,11	0,383
Образец PEC/PEC	4,45	0,235	1,23	0,395

где  $m_{01}$  – начальная масса дистиллированной воды в холостом испытании,  $мг$ ;  $m_{02}$  – конечная масса дистиллированной воды в холостом испытании,  $мг$ .

При оценке пароемкости образцы материала высушивают в сушильном шкафу до абсолютно сухого веса ( $M_0$ ). В чашу заливают фиксированный объем воды, после чего ее закрывают образцом, поверх которого кладут непроницаемый материал, обеспечивая полную герметичность чаши и проводят испытание при температуре в камере  $40\text{ }^{\circ}C$  в течении 1 часа. По истечении заданного интервала времени измеряют конечную массу образца ( $M_1$ ). По результатам испытаний рассчитывали относительную пароемкость ( $\Pi_{eo}$ ,  $мг/мм^3$ ), характеризующую объемное заполнение образца парами влаги:

$$\Pi_{eo} = \frac{M_1 - M_0}{S \cdot \Delta}, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – толщина образца,  $мм$ .

Для оценки способности двухслойного трикотажного материала проводить через себя влагу проведены исследования скорости испарения капли жидкости влаги с поверхности трикотажных полотен. Для этого на стеклянную поверхность капали каплю жидкости определенного объема, сверху укладывали образец трикотажного полотна слоем с функциональной нитью вниз, далее снимали показания изменяющейся массы влажного образца, после чего рассчитывают коэффициент остаточной влаги  $K_{ост}$  (%) в разные интервалы времени.

### Результаты и обсуждения

По полученным экспериментальным данным проведен расчет коэффициента паропроницаемости и построены кривые скорости диффузии паров через двухслойную трикотажную структуру (рисунок 1).

На кинетических кривых поглощения паров воды (рисунок 1) можно выделить два характерных участка. В первом периоде происходит интенсивное поглощение паров влаги материалом. Для двухслойного материала Soft/PEC этот

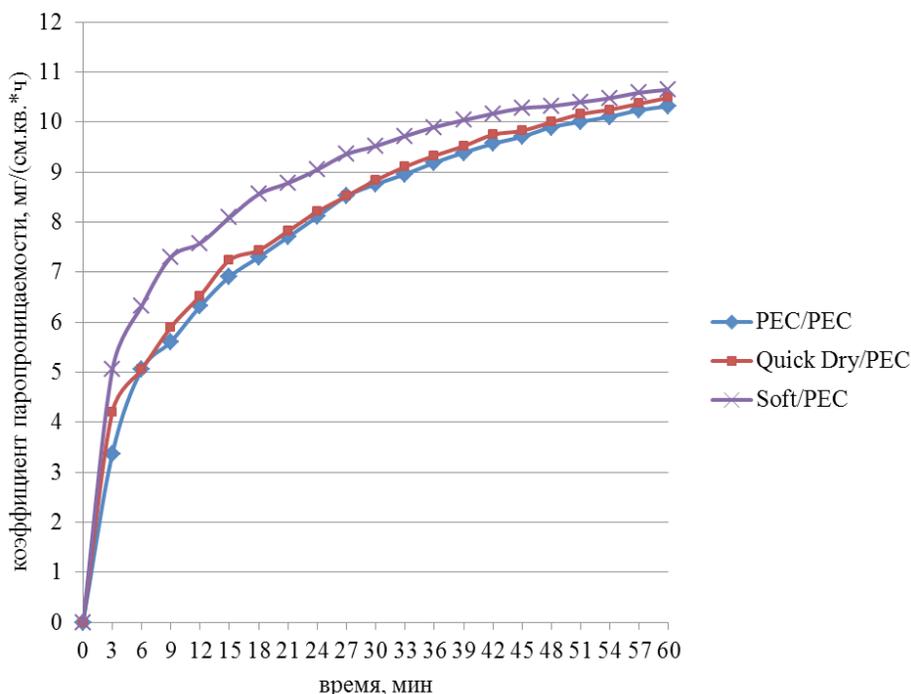


Рисунок 1 – Скорость диффузии паров через материал

период составляет 6 минут, для пакета Quick/PEC он более продолжителен и составляет 15 минут, а для полотен PEC/PEC из традиционной полиэфирной нити – 12 минут. Данный период отражает заполнение парами влаги легкодоступных мезо- и макропор в структуре материала. Во втором периоде наблюдается снижение скорости прохождения паров, при достижении 60 минут испытаний коэффициент практически не зависит от вида используемой функциональной нити.

Высокая начальная скорость сорбции характерна для образца Soft/PEC, пары воды интенсивно заполняют микрокапилляры, образованные межволоконным пространством. В течение первого получаса масса пройденных паров составила  $9,5 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{с}$  для образца Soft/PEC, и  $8,7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{с}$  – для двух других. В последующие 30 минут испытаний скорость диффузии паров существенно снижается.

Получены теоретико-экспериментальные зависимости паропрооницаемости полотен от времени контакта с источником паров влаги, позволяющие спрогнозировать коэффициент паропрооницаемости в любой момент времени:

$$P_{P/P} = 0,395 - 3,62 \cdot t^2 + 13,22 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,997) \quad (4)$$

$$P_{Q/P} = 0,686 - 3,59 \cdot t^2 + 13,05 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,994) \quad (5)$$

$$P_{S/P} = 1,197 - 5,41 \cdot t^2 + 14,152 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,983) \quad (6)$$

Характер изменения паропрооницаемости – степенной. Адекватность моделей подтверждается рассчитанным значением коэффициента детерминации. Высокие численные значения полученных коэффициентов регрессии в модели (6) указывают, что образец Soft/PEC благодаря микропористой структуре способен транспортировать увеличенный процент паров.

Свойство паропрооницаемости зависит от параметров: толщины полотна, плотности материала и объемной плотности [9]. Согласно гео-

метрическим параметрам образцов (таблица 1) объемная плотность полотна с использованием микрофиламентной нити наибольшая из анализируемых, что и обуславливает высокую относительную паропрооницаемость (рисунок 2). Наименьшим этот показатель является у полотна из традиционной полиэфирной нити, несмотря на большую толщину, образец характеризуется высоким значением поверхностного модуля петли.

Диффузия пара зависит от воздухопроницаемости образцов (рисунок 3). Благодаря пористой структуре, полотна из традиционного полиэфира характеризуются высокой воздухопроницаемостью.

Пароёмкость – это количество водяного пара, которое материал поглощает в течение определенного времени, выраженное в виде массы воды на единицу площади материала (рисунок 4).

По показателю относительной пароёмкости можно оценить, какой объем полотна занимает испаряемая жидкость. Наибольшим показателем пароёмкости обладает двухслойный материал Soft/PEC, его значение составляет  $2,81 \text{ мг/(см}^3\text{)}$ . У материала Quick/PEC значение показателя несколько ниже и составляет  $2,73 \text{ мг/(см}^3\text{)}$ . Наименьшая пароёмкость свойственна двухслойному материалу из традиционного полиэфира, его значение  $2,36 \text{ мг/(см}^3\text{)}$ . Полученные данные также коррелируют с ранее полученными данными по паропрооницаемости.

Анализ кривых изменения коэффициента остаточной влаги при ее испарении в естественных условиях (рисунок 5) показывает, что двухслойные полотна с использованием функциональной нити Quick Dry, имеющие профилированную поверхность элементарных нитей, высыхают медленнее, так как влага удерживается за счет капиллярной конденсации и время испарения увеличивается до 60 минут. Полотна Soft/PEC высыхают 50 минут, микропористая структура слоя из функциональной нити создает открытую площадь поверхности испарения, что сокращает время испарения.

Для более детального анализа процесса испарения трикотажных полотен в естественных условиях построены кривые скорости испарения в анализируемом диапазоне времени (рисунок 6) [10]. Из графиков видно, кинетика процесса

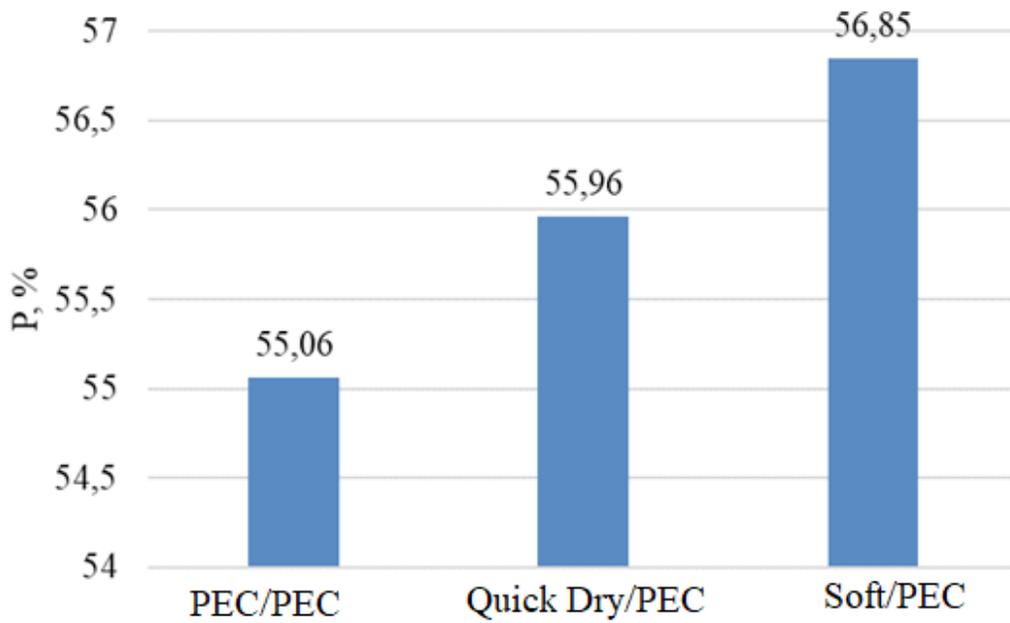


Рисунок 2 – Относительная паропроницаемость двухслойных материалов

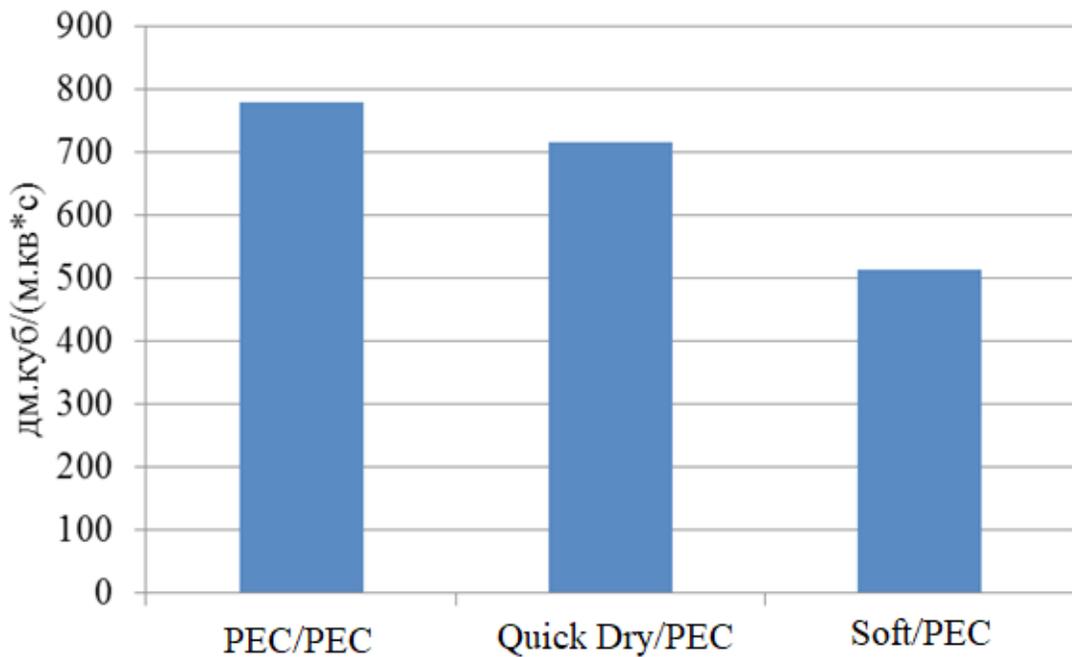


Рисунок 3 – Воздухопроницаемость двухслойных полотен

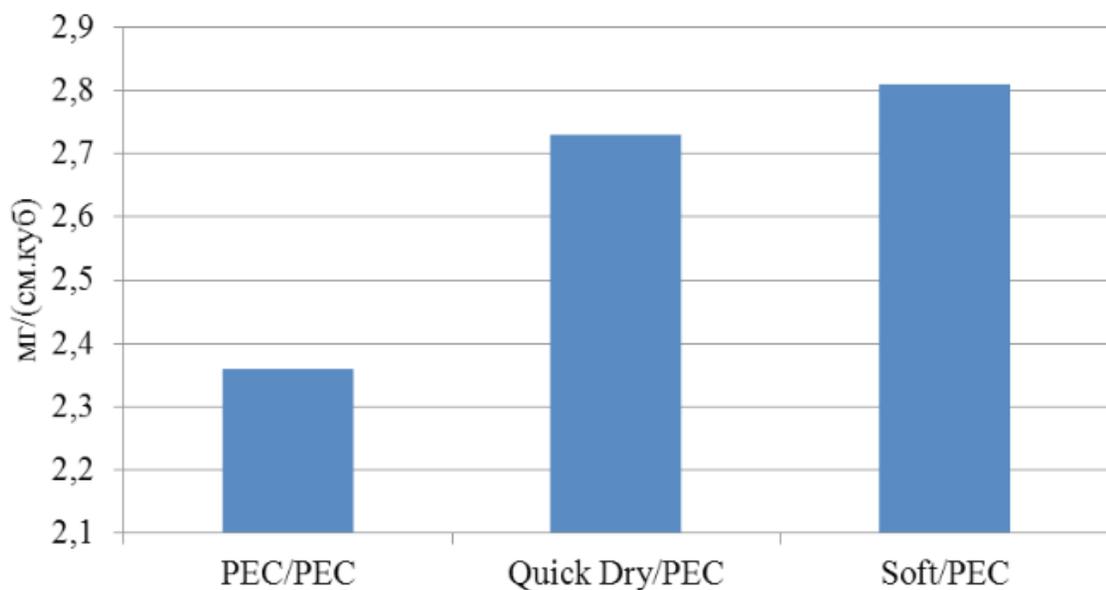


Рисунок 4 – Относительная пароемкость образцов

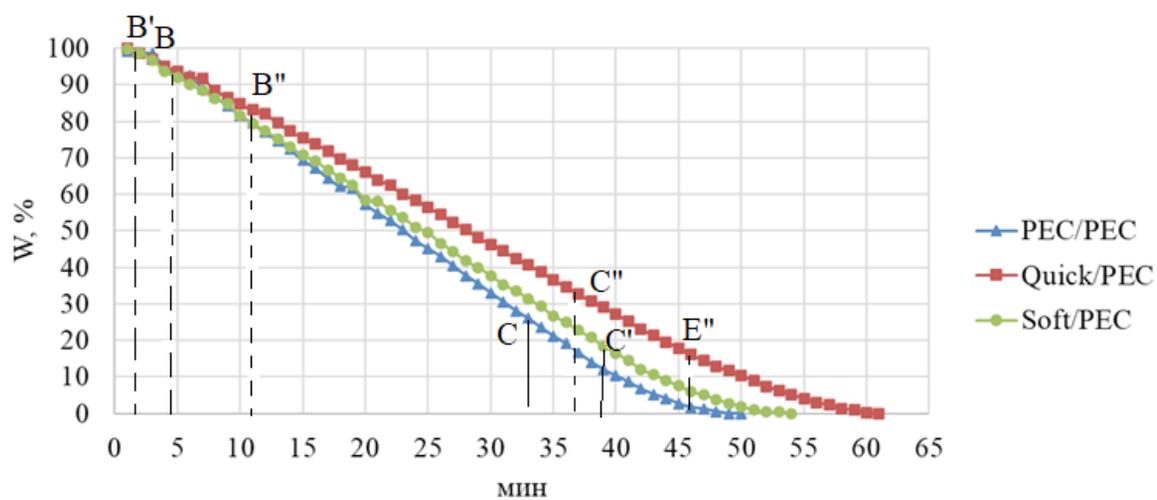


Рисунок 5 – Динамика изменения коэффициента остаточной влаги

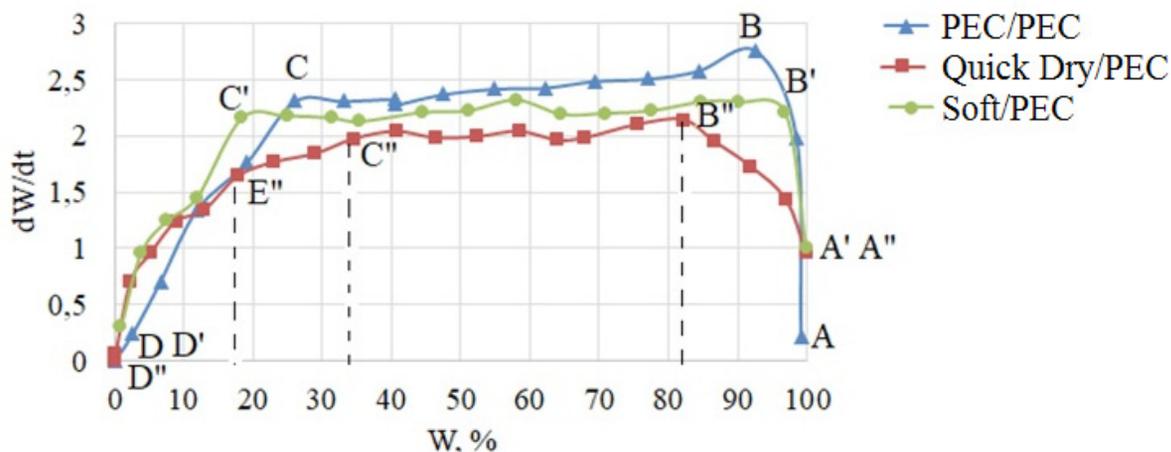


Рисунок 6 – Кривые скорости испарения в естественных условиях

различна для анализируемых видов трикотажа.

На начальном этапе испарения в течение небольшого промежутка времени (участок AB, A'B', A''B'') наблюдается период прогрева материала: 1,5 минуты для образца PEC/PEC, 3 минуты для Soft/PEC, более длительный период около 11 минут отмечается на образце Quick Dry/PEC, что сопряжено с необходимостью прогрева до температуры мокрого термометра жидкости, сконденсированной в боковых макрокапиллярах элементарных нитей Quick Dry.

На участке BC, B'C', отмечается период постоянной скорости сушки, влагосодержание материала уменьшается по линейному закону, капиллярная влага удаляется в течение 30–35 мин для образцов PEC/PEC и Soft/PEC, при этом первая критическая влажность образцов составляет соответственно  $W_{кр1} = 26\%$  и  $18\%$ , для образца Quick Dry/PEC период постоянной скорости сушки B''C'' составляет 26 минут и  $W_{кр1} = 33\%$ .

В периоде падающей скорости сушки для образца PEC/PEC участок CD и для образца с микрофиламентной нитью участок C'D' имеет прямолинейный характер. Однако у двухслойного трикотажа с использованием профилированной нити Quick Dry этот участок имеет вторую критическую точку E'' ( $W_{кр2} = 18\%$ ), на участке C''E'' происходит испарение адсорбционно связанной

влаги из боковых капилляров элементарных нитей.

#### ВЫВОДЫ

Проведены исследования влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных полотен с использованием функциональных нитей в одном из слоев полотна. Установлено, что количество и скорость прохождения паров и жидкой влаги через двухслойную структуру трикотажа зависят от вида используемой в полотне функциональной нити. Наличие элементарных нитей с тетраканальным профилем поперечного сечения в структуре функциональной нити Quick Dry, а также микрофиламентность нити Soft (линейная плотность ЭН 0,058 *текс*) способствует улучшению гигиенических свойств двухслойных полиэфирных трикотажных материалов. Проанализировав особенности влагорегулирующих свойств опытных образцов, можно рекомендовать использовать двухслойные полотна в качестве материалов для изготовления функциональной одежды.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бузов, Б. А. (2010), *Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство)*, Москва, Академия, 448 с.
2. Kanakaraj, P. (2015), Active knit fabrics – functional needs of sportswear application, *Journal of Textile and apparel, Technology and management*, July, 2015, available at: <https://www.researchgate.net/publication/282267783>.
3. Mishra, R. et al (2021), Thermophysiological comfort of single jersey knitted fabric derivatives, *Fashion and Textiles*, 2021, Vol. 8, issue 1, available at: <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00266-5>.
4. Halavska, L., Batrak, O. (2018), Development & research on consumer properties of integrated two-layer weft knitted fabric from eco-raw materials, *Fibres and Textiles*, 2018, Vol. 2, P. 32–39.
5. Bhatia, D., Malhotra, U. (2016), Thermophysiological wear comfort of clothing: an overview, *Textile Science Engineering*, 2016, Vol. 6, issue 2, doi:10.4172/2165-8064.1000250.
6. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н. (2022), Исследование транспорта влаги в двухслойных трикотажных структурах из полиэфирных нитей под действием внешней нагрузки, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2022, № 6 (402), С. 39–45.
7. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н. (2023), Оценка функциональных свойств модифицированных полиэфирных нитей и текстильных материалов из них, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2023, № 1 (403), С. 69–75.

## REFERENCES

1. Buzov, B. A. (2010), *Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti (shvejnoe proizvodstvo)* [Materials science in the production of light industry products (clothing)], Moscow, Academy, 448 p.
2. Kanakaraj, P. (2015), Active knit fabrics – functional needs of sportswear application, *Journal of Textile and apparel, Technology and management*, July, 2015, available at: <https://www.researchgate.net/publication/282267783>.
3. Mishra, R. et al (2021), Thermophysiological comfort of single jersey knitted fabric derivatives, *Fashion and Textiles*, 2021, Vol. 8, issue 1, available at: <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00266-5>.
4. Halavska, L., Batrak, O. (2018), Development & research on consumer properties of integrated two-layer weft knitted fabric from eco-raw materials, *Fibres and Textiles*, 2018, Vol. 2, P. 32–39.
5. Bhatia, D., Malhotra, U. (2016), Thermophysiological wear comfort of clothing: an overview, *Textile Science Engineering*, 2016, Vol. 6, issue 2, doi:10.4172/2165-8064.1000250.
6. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N. (2022), Investigation of moisture transport in two-layer knitted structures made of polyester yarns under the action of external [Issledovanie transporta vlagi v dvuhsojnyh trikotaznyh strukturah iz polijefirnyh nitej pod dejstviem vneshej nagruzki], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti – News of higher educational institutions. Textile industry technology*, 2022, № 6 (402), P. 39–45.
7. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N. (2023), Evaluation of the functional properties of modified polyester yarns and textile materials from

8. ОАО «СветлогорскХимволокно», режим доступа: <http://www.sohim.by/> (дата обращения: 02.04.2023).
9. Hyun-Ah Kim (2021), Moisture Vapor Permeability and Thermal Wear Comfort of Ecofriendly Fiber-Embedded Woven Fabrics for High-Performance Clothing, *Materials* (Basel), 2021, Vol. 14(20), available at: [https://www.researchgate.net/publication/355435087\\_Moisture\\_Vapor\\_Permeability\\_and\\_Thermal\\_Wear\\_Comfort\\_of\\_Ecofriendly\\_Fiber-Embedded\\_Woven\\_Fabrics\\_for\\_High-Performance\\_Clothing/](https://www.researchgate.net/publication/355435087_Moisture_Vapor_Permeability_and_Thermal_Wear_Comfort_of_Ecofriendly_Fiber-Embedded_Woven_Fabrics_for_High-Performance_Clothing/).
10. Лыков, А. В. (1968), *Теория сушки*, Москва, 470 с.
8. JSC "SvetlogorskKhimvolokno", available at: <http://www.sohim.by/> (accessed 2 April 2023).
9. Hyun-Ah Kim (2021), Moisture Vapor Permeability and Thermal Wear Comfort of Ecofriendly Fiber-Embedded Woven Fabrics for High-Performance Clothing, *Materials* (Basel), 2021, Vol. 14(20), available at: [https://www.researchgate.net/publication/355435087\\_Moisture\\_Vapor\\_Permeability\\_and\\_Thermal\\_Wear\\_Comfort\\_of\\_Ecofriendly\\_Fiber-Embedded\\_Woven\\_Fabrics\\_for\\_High-Performance\\_Clothing](https://www.researchgate.net/publication/355435087_Moisture_Vapor_Permeability_and_Thermal_Wear_Comfort_of_Ecofriendly_Fiber-Embedded_Woven_Fabrics_for_High-Performance_Clothing)
10. Lykov, A. V. (1968), *Teorija sushki* [Drying theory], Moscow, 470 p.

Статья поступила в редакцию 17.05.2023 г.