

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НИТЕЙ**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF PRODUCING COMBINED FUNCTIONAL YARN**

УДК 677.072.3

Н.В. Скобова*, Е.Ш. Косоян*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2020-13812>**N. Skobova*, E. Kosoyan***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ****КОМБИНИРОВАННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НИТИ, СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, НИТЬ QUICK DRY, РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ**

Ассортимент химических волокон и нитей постоянно расширяется за счет появления новых видов полимеров и модификации существующих. ОАО «СветлогорскХимволокно» выпустил на рынок текстильных нитей порядка 18 наименований новой продукции. Для изучения выбрана нить Quick Dry, главной особенностью которой является увеличенная поверхность испарения. Достичь данного эффекта удалось за счет физической модификации нити. Проведена работа по оценке целесообразности соединения комплексной функциональной нити Quick Dry с гидрофобными (полиэфирными) волокнами для придания комбинированной нити гигиенических свойств.

Проведены экспериментальные исследования процесса формирования комбинированной функциональной нити на кольцевой прядильной машине, в ходе которых определены рациональные технологические режимы, позволяющие обеспечить комбинированной нити повышенные сорбционные свойства. Сравнительный анализ впитывающих свойств комбинированных функциональных нитей и традиционных комбинированных полиэфирных нитей подтвердил целесообразность сочетания функциональной нити Quick Dry с гидрофобными волокнами. Применение комбинированных функциональных нитей анализируемого состава для изготовления трикотажных изделий позволит повысить их гигиенические характеристики.

ABSTRACT**COMBINED FUNCTIONAL YARN, SORPTION PROPERTIES, QUICK DRY FILAMENTS, REGRESSION MODELS**

The range of man-made fibers and filament yarn is constantly expanding due to the appearance of new types of polymers and modifications to existing ones. SvetlogorskKhimvolokno Company has released on the textile yarn market about 18 types of new products. For research, the Quick Dry yarn was chosen, the main feature of which is an increased evaporation surface. This effect was achieved by physical modification of the yarn. The research work was carried out to assess the feasibility of combining the complex functional yarn Quick Dry with hydrophobic (polyester) fibers to give the combined yarn hygienic properties.

Experimental studies have been carried out on the process of a combined functional yarn on a ring spinning machine, during which rational technological modes are determined, which allow to provide the combined yarn with increased sorption properties. Comparative analysis of the absorbent properties of the combined functional yarns and conventional combined polyester yarns confirmed the feasibility of combining the Quick Dry functional yarn with hydrophobic fibers. The use of combined functional yarns of the analyzed composition for the manufacture of knitted products will improve their hygienic characteristics.

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

ВВЕДЕНИЕ

В ходе анализа мирового рынка производства и потребления химических волокон и нитей за последние 10 лет установлено, что спрос на химические волокна возрастает ежегодно на 5 % в связи с увеличением потребности в различных отраслях (текстильной, автомобилестроение и аэрокосмической). Наиболее востребованной на рынке синтетических волокон и нитей является полиэфирная продукция: средние темпы роста спроса на полиэфирное волокно вдвое выше, чем на другие виды волокон химического происхождения. По прогнозу Textile World, мировое потребление полиэфирных волокон и нитей до 2030 г. будет непрерывно возрастать и достигнет почти 70 **млн т** (рисунок 1 а) [1, 2].

Республика Беларусь имеет развитую промышленность химических волокон и нитей. На долю страны приходится около половины общего объема производства этой продукции в СНГ, а по отдельным видам (полиэфирные волокна и нити, полиакрилонитрильные волокна, вискозная кордная ткань) Беларусь является монополистом. Мощности всех предприятий химических волокон и нитей республики составляет порядка 310 **тыс. тонн** в год. Экспорт химических волокон и нитей в 2017 году достиг 75 % внутреннего производства, так как объем их производства в 2,5–3 раза превышает потребности Беларуси [3].

Одним из ведущих производителей текстильных полиэфирных нитей в Республике Беларусь является ОАО «СветлогорскХимволокно», мощ-

ности предприятия позволяют выпускать до 40 **тыс. тонн** нитей в год (рисунок 2).

Для того чтобы отечественные производители полиэфирных волокон и нитей не потеряли востребованность своей продукции на мировом рынке (традиционные полиэфирные текстильные нити уже достаточно прочно заняли свою ассортиментную нишу), необходимо расширять существующий ассортимент продукции за счет придания традиционным видам сырья новых свойств. Наибольший интерес вызывает ассортимент «умных» нитей – это продукт, способный идентифицировать перемены окружающей среды и приспосабливаться к ним при помощи функциональных трансформаций, в частности, изменять цвет, активировать водостойкость, проявлять антибактериальные и другие специальные свойства [4]. По такому пути развивается ОАО «СветлогорскХимволокно», на сегодняшний день предприятием выпускается новый ассортимент полиэфирных текстильных нитей – функциональных: нити с повышенным капиллярным эффектом Quick Dry, нить с охлаждающим эффектом Cool Black и еще более 18 наименований.

В связи с этим представляет интерес изучение свойств нового вида нитей для выявления их отличительных характеристик от традиционного ассортимента полиэфирных нитей, особенно в комбинации с другими видами волокон.

Из разработанного ОАО «СветлогорскХимволокно» ассортимента функциональных нитей

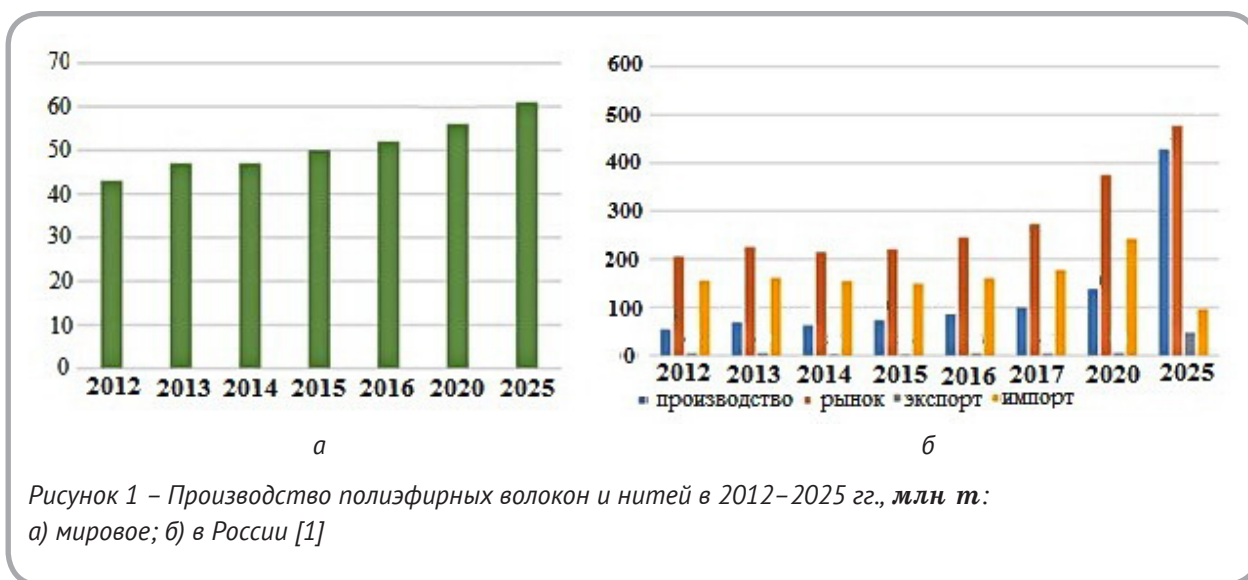


Рисунок 1 – Производство полиэфирных волокон и нитей в 2012–2025 гг., **млн т**: а) мировое; б) в России [1]

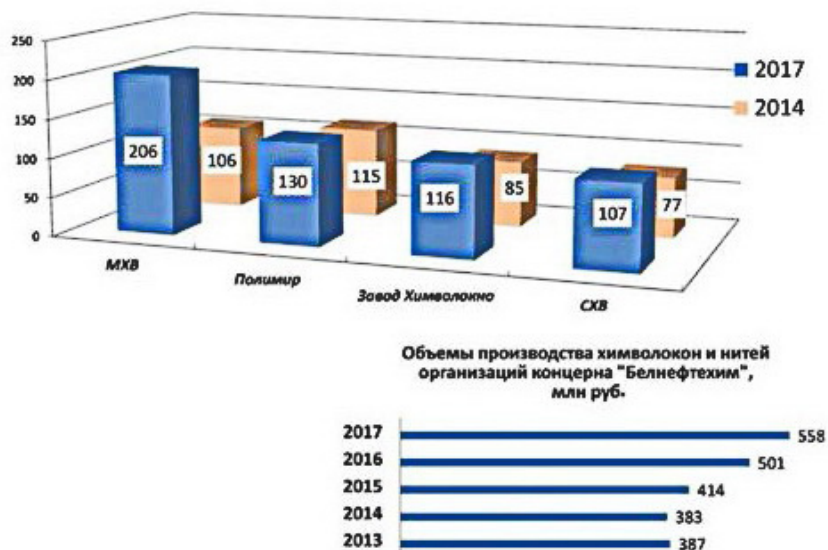


Рисунок 2 – Производство химических волокон и нитей в разрезе организаций концерна «Беллегрот» (млн руб.)

выбрана нить Quick Dry, главной особенностью которой является увеличенная поверхность испарения, разделение капель пота (воды) на более мелкие частицы и рассредоточение их на большей поверхности полотна (изделия), что позволяет влаге испаряться очень быстро и человеку оставаться в комфортных условиях. Физико-механические свойства нити представлены в таблице 1 [5].

Проведена работа, целью которой являлась оценка целесообразности сочетания комплексной нити Quick Dry с гидрофобными (полиэфирными) волокнами для придания комбинированной нити гигиенических свойств и выбор рациональных параметров получения комбинированной функциональной нити.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На кафедре «Технология текстильных ма-

Таблица 1 – Физико-механические свойства функциональной нити Quick Dry

Показатели	Значение
Линейная плотность, <i>текс</i>	9,2
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	0,6
Число филаментов	48
Разрывная нагрузка абсолютная, <i>сН</i>	285
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	4,5
Разрывное удлинение, %	25
Коэффициент вариации по удлинению нити при разрыве, %	10
Относительная разрывная нагрузка, <i>сН/текс</i>	31
Линейная усадка, %	5
Массовая доля замасливателя, %	0,8

териалов» разработана технология получения комбинированных функциональных нитей по кардной системе прядения кольцевым способом формирования. В качестве исходного сырья использованы полиэфирная ровница линейной плотности 714 *текс* (характеристика волокон представлена в таблице 2) и функциональная полиэфирная нить Quick Dry линейной плотности 9,2 *текс*. Вырабатывали комбинированную функциональную нить (КФУН) линейной плотности 29 *текс* трикотажного назначения. При производстве комбинированной нити вытяжка в вытяжном приборе устанавливалась $E = 34$, обеспечивая полное покрытие стержневого компонента волокном (соотношение элементов в структуре комбинированной нити составило: 70 % обвивочный слой, 30 % стержневой [6].

Проведен двухфакторный эксперимент по D-оптимальной матрице 3^2 с двумя повторностями, целью которого являлся выбор оптимальных режимов заправки прядильной машины для получения КФУН, характеризующихся высокой степенью взаимодействия с влагой в жидком и газообразном состоянии [7, 8].

Уровни варьирования входных факторов представлены в таблице 3. В качестве входных факторов выбраны натяжение полиэфирной нити Quick Dry и крутка, сообщаемая комбинированной нити, *кр/м*.

В ходе предварительных исследований свойств полиэфирной комплексной функциональной нити установлено, что по физико-механическим свойствам она не отличается от традиционных полиэфирных комплексных нитей аналогичной линейной плотности, а повышенные капиллярные свойства нити Quick Dry проявляются благодаря физической модификации нити. Поэтому выходными параметрами выбраны сорбционные свойства комбинированной нити: гигроскопичность (ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств»), капиллярность (ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств»), поглотительная способность (ГОСТ 5556-81 «Вата медицинская гигроскопическая Технические условия»), начальная скорость аб-

Таблица 2 – Физико-механические свойства полиэфирного волокна

Параметр	Значения
Длина резки, <i>мм</i>	38,1
Линейная плотность, <i>текс</i>	0,158
Удельная разрывная нагрузка, <i>мН/текс</i>	400
Удлинение при разрыве, %	34
Количество извитков на 1 <i>см</i>	4,1
Склейки, роговидные и грубые волокна, %	0,002
Непрорезанные волокна двойной длины и более, %	0,004
Рассыпчатость	Хорошая
Влажность, %	0,4

Таблица 3 – Интервалы варьирования факторов

Параметры	Уровни варьирования		
	-1	0	+1
Натяжение комплексной нити, <i>мН</i> (X_1)	0	100	200
Крутка, <i>кр/м</i> (X_2)	490	590	690

сорбции (определяли расчетным путем). Прочностные характеристики опытных вариантов комбинированной нити удовлетворяли требованиям ТУ на данный вид продукции.

При определении капиллярности подготавливались отрезки комбинированной нити длиной 300 мм, один конец нити закреплялся в зажиме штатива, к свободному концу подвешивался груз (две стеклянные палочки). Груз погружали в раствор бихромата калия, показания снимали через 60 мин.

При анализе гигроскопических свойств подготавливали отрезки комбинированных нитей массой 10 г, помещали их в бюксах в эксикатор на 24 ч, после чего рассчитывали показатель гигроскопичности (%):

$$H = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_b – масса увлажненной элементарной пробы, г; m_c – масса элементарной пробы после высушивания до постоянной массы, г.

Поглотительную способность (K) в граммах вычисляли по формуле:

$$K = \frac{n \cdot 100}{m \cdot (100 - W_\phi)}, \quad (2)$$

где n – количество воды, поглощенное воздушно-сухой навеской, г; m – масса воздушно-сухой навески после сушки, г; W_ϕ – фактическая влажность, %.

Начальную скорость абсорбции ($z/(мм^2 \cdot мин)$) для каждого образца рассчитывали по формуле:

$$C_{абс} = \frac{m_2 - m_1}{S \cdot t}, \quad (3)$$

где m_1 – масса сухого образца, г; m_2 – масса образца после погружения, г; S – площадь погружаемой поверхности, мм²; t – время выдерживания образца в воде, мин (60 с).

Полученные данные эксперимента обрабатывались с помощью прикладной программы Statistica for Windows. Зависимости выходных

параметров от входных факторов описывались неполным полиномом третьего порядка.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Получены регрессионные модели зависимости выходных параметров от варьируемых факторов:

– гигроскопичности КФУН от натяжения функциональной нити Quick Dry и сообщаемой крутки:

$$Y_1 = 8,77 - 0,518 \cdot X_1 - 0,495 \cdot X_2 - 0,54 \cdot X_1 \cdot X_2; \quad (4)$$

– капиллярности КФУН от натяжения функциональной нити Quick Dry и сообщаемой крутки:

$$Y_2 = 64,16 - 4,25 \cdot X_1 - 15,33 \cdot X_2 - 5,5 \cdot X_2^2; \quad (5)$$

– поглотительной способности от натяжения функциональной полиэфирной нити и сообщаемой крутки:

$$Y_3 = 12,52 - 0,72 \cdot X_2 - 1,18 \cdot X_2^2; \quad (6)$$

– начальной скорости абсорбции от натяжения функциональной нити Quick Dry и сообщаемой крутки:

$$Y_4 = 82,5 - 20,5 \cdot X_1^2 \cdot X_2 + 12,9 \cdot X_2^2. \quad (7)$$

Для оценки статистической значимости разработанных моделей проведен дисперсионный анализ. В таблице 4 для каждого уравнения показана сумма квадратов отклонений регрессии, критерий Фишера (F -value), значение которого для всех рассмотренных моделей значительно больше табличного при уровне значимости $p < 0.05$, что указывает на достоверность разработанных моделей.

Анализ полученных моделей показывает, что наиболее влияющим фактором на гигроскопич-

Таблица 4 – Оценка значимости разработанных моделей

Эффект (<i>Effect</i>)	Сумма квадратов отклонений регрессий (<i>Sum of Squares</i>)	Критерий Фишера (<i>F-value</i>)	Уровень значимости (<i>p-value</i>)
Регрессия для модели (1)	697,69	2130,28	0,000000
Регрессия для модели (2)	34521,79	1040,86	0,000000
Регрессия для модели (3)	693,27	1856,54	0,000000
Регрессия для модели (4)	76618,02	3580,49	0,000000

ные свойства комбинированной функциональной нити является крутка, сообщаемая нити.

По полученным регрессионным моделям построены графические зависимости выбранных выходных параметров от варьируемых входных факторов.

Для выявления области рациональных решений необходимо установить ограничения на выходные параметры (свойства комбинированной функциональной нити). Показатель гигроскопичности установлен согласно СанПин 2.4.7/1.1.1286-03 – не менее 10 % (для одежды 1-го слоя). Другие анализируемые свойства (капиллярность, начальная скорость абсорбции, поглотительная способность) – не нормированные показатели, поэтому выбираем диапазон максимально возможных значений, так как эти свойства характеризуют функциональные способности комбинированной нити: капилляр-

ность – не менее 65 мм за 60 минут; начальная скорость абсорбции – не менее 90 г/(мм²·мин); поглотительная способность – не менее 10 г.

Отмечается локализация области рациональных значений ABC выходных факторов в зоне близкой к максимальному значению крутки 600–680 кр/м и минимальному значению натяжения нити Quick Dry – от 0 до 25 мН.

Проведен сравнительный анализ сорбционных свойств комбинированной функциональной нити и комбинированной полиэфирной нити аналогичной линейной плотности (состав: комплексная полиэфирная нить 9,2 текс, волокнистая мычка – 100 % ПЭ волокно), полученной по параметрам заправки прядильной машины, рекомендуемой для комбинированной функциональной нити (рисунок 3). На рисунке 4 представлена гистограмма сорбционных свойств сравниваемых вариантов нитей. Анализ

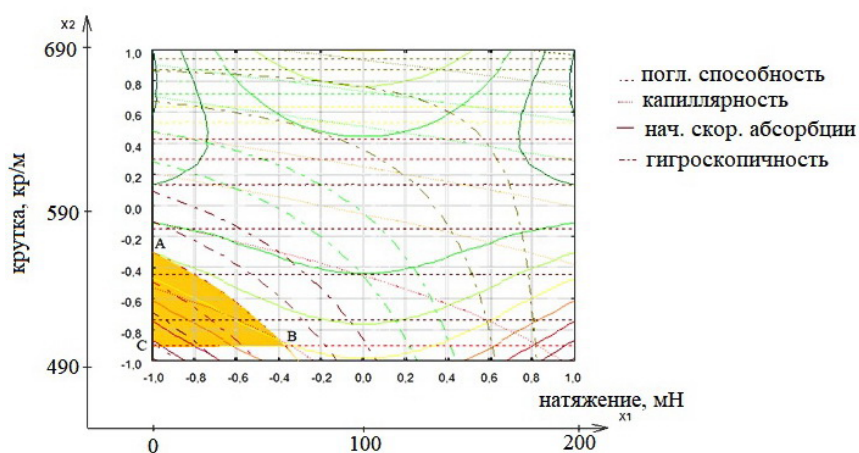


Рисунок 3 – Совмещенный график линий равного уровня для принятых показателей качества комбинированной высокоусадочной нити

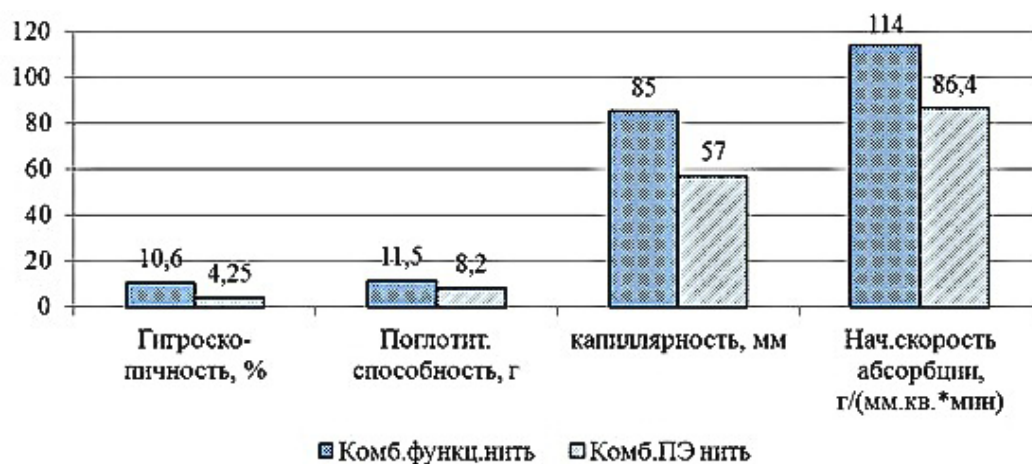


Рисунок 4 – Сравнительный анализ свойств комбинированных нитей

полученных данных показывает, что использование полиэфирной нити Quick Dry в сочетании с гидрофобным волокном существенно увеличивает (в 1,5–2 раза) сорбционные свойства комбинированной нити. Полученные результаты доказывают целесообразность сочетания нити Quick Dry с гидрофобными волокнами в структуре комбинированной нити. Применение комбинированных функциональных нитей анализируемого состава для изготовления трикотажных изделий позволит повысить гигиенические характеристики последних.

ВЫВОДЫ

В ходе планирования эксперимента получены математические модели взаимосвязи техно-

логических параметров заправки прядильной машины с сорбционными свойствами комбинированной функциональной нити: гигроскопичностью, капиллярностью, поглотительной способностью, начальной скоростью абсорбции.

В результате проведенных исследований установлены рациональные параметры заправки кольцевой прядильной машины, позволяющие обеспечить комбинированной нити повышенные сорбционные свойства. Сочетание функциональной нити Quick Dry с гидрофобными волокнами в структуре комбинированной нити позволяет получить изделия с высокими гигиеническими характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ПЛАН мероприятий («дорожная карта») по развитию подотрасли по производству искусственных и синтетических волокон и нитей на период до 2020 года, режим доступа <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=203501>.
2. Айзенштейн, Э. М. (2018), Отечественная промышленность химических волокон в 2017 г., *Полимерные материалы*, 2018, № 8, С. 40–46.

REFERENCES

1. PLAN meroprijatij («dorozhnaja karta») po razvitiju podotrasli po proizvodstvu iskusstvennyh i sinteticheskikh volokon i nitej na period do 2020 goda [ACTION PLAN (Roadmap) for development of sub-sector for production of artificial and synthetic fibres and threads for the period up to 2020], access mode: <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=203501>.

3. Сипач, О. Н. (2016), Белорусский рынок химических волокон и нитей: состояние проблемы развития, *Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь*, 2016, № 5, С. 36–45.
4. Соколов, Л. Е. (2019), *Инновационные текстильные материалы и технологии*, Витебск, 141 с.
5. Официальный сайт ОАО «СветлогорскХимволокно», режим доступа: <http://www.sohim.by/produktsiya/poliefirnye-niti/funktsionalnye/bystrosokhnushchie-quick-dry/>.
6. Куландин, А. С., Коган, А. Г. (2018), Технология получения комбинированных высокообъемных нитей с использованием токов СВЧ, *Материалы докладов 51-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной Году науки*, Витебск, 2018, т. 2, С. 259–260.
7. Косоян, Е. Ш., Скобова, Н. В. (2019), Исследование гигроскопических свойств трикотажных полотен из функциональных полиэфирных нитей, *Сборник материалов всероссийской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы» (ПОИСК – 2019)*, Иваново, 2019, ч. 2, С. 11–13.
8. Скобова, Н. В., Косоян, Е. Ш. (2019), Исследование влагопоглощающих свойств трикотажных полотен из функциональной нити Quick Dry. *Материалы докладов 52-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, 2019, т. 2, С. 262–264.
2. Aisenstein, E. M. (2018), Domestic chemical fiber industry in 2017 [Otechestvennaja promyshlennost' himicheskikh volokon v 2017 g.], *Polimernye materialy – Polymer materials*, 2018, № 8, pp. 40–46.
3. Sipach, O. N. (2017), Belarusian market of chemical fibers and threads: state of the development problem [Belorusskij rynek himicheskikh volokon i nitej: sostojanie problemy razvitija], *Economic Bulletin of the Research Economic Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus – Jekonomicheskij bjulleten' Nauchno-issledovatel'skogo jekonomicheskogo instituta Ministerstva jekonomiki Respubliki Belarus'*, 2017, № 5, pp. 36–45.
4. Sokolov, L. E. (2019), *Innovacionnye tekstil'nye materialy i tehnologii* [Innovative textile materials and technologies], Vitebsk, 141 p.
5. Oficial'nyj sajt ОАО «SvetlogorskHimvolokno» [Website of OJSC "SvetlogorskKhimvolokno"], access mode: <http://www.sohim.by/produktsiya/poliefirnye-niti/funktsionalnye/bystrosokhnushchie-quick-dry/>.
6. Kulandin, A. S., Kogan, A. G. (2018), Technology for producing combined high-volume filaments using microwave currents [Tehnologija poluchenija kombinirovannyh vysokoobemnyh nitej s ispol'zovaniem tokov SVCh], *Proceedings of the 51st International scientific and technical conference of teachers and students dedicated to the Year of Science*, Vitebsk, 2018, Part 2, pp. 259–260.
7. Kosoyan, E. Sh., Skobova, N. V. (2019), Study of the hygroscopic properties of knitted fabrics of functional polyester thread [Issledovanie gigroskopicheskikh svojstv trikotazhnyh poloten iz funkcional'nyh polijefirnyh nitej], *Proceedings of the All-Russian (with international participation) youth scientific and technical conference "Young Scientists – to the Development of the National Technological Initiative" (SEARCH – 2019)*, Ivanovo, 2019, Part 2, pp. 11–13.

8. Skobova, N. V., Kosoyan, E. Sh. (2019), The study of the moisture-absorbing properties of knitted fabrics from the functional thread Quick Dry [Issledovanie vlagopogloshhajushhih svojstv trikotazhnyh poloten iz funkcional'noj niti Quick Dry] *Proceedings of the 52st International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk, 2019, v. 2, P. 262–264.

Статья поступила в редакцию 11. 12. 2019 г.