

## ПОВЫШЕНИЕ ОБЪЁМНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ХЛОПКОПОЛИЭФИРНОЙ НИТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

### IMPROVEMENT OF THE BULK OF CORE-SPUN COTTON-POLYESTER YARN IN CONDITIONS OF EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC WAVES OF ULTRA-HIGH FREQUENCY

УДК 677.022

**А.С. Куландин\*, А.Г. Коган**

*Витебский государственный технологический университет*

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2018-13503>

**A. Kulandin\*, A. Kogan**

*Vitebsk State Technological University*

#### РЕФЕРАТ

*КОМБИНИРОВАННАЯ НИТЬ, ПОЛИЭФИРНАЯ НИТЬ, ОБЪЁМНОСТЬ, УСАДКА, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ*

*Объект исследований – комбинированная хлопкополиэфирная нить линейной плотности 35 текс х 2 и технологические процессы её производства.*

*Использованы методы математического планирования эксперимента и статистической обработки полученных данных.*

*Результаты проведенных исследований – доказано влияние электромагнитных волн СВЧ на повышение объёмности комбинированной нити. Определены оптимальные режимные параметры для получения комбинированной высокообъёмной нити.*

*В результате проведенной работы определено, что использование электромагнитных волн СВЧ влияют на повышение объёмности комбинированной хлопкополиэфирной нити и могут применяться в качестве альтернативного способа влажно-тепловой обработки текстильных материалов.*

#### ABSTRACT

*CORE-SPUN YARN, POLYESTER YARN, BULK, SHRINKAGE, MICROWAVE FREQUENCY*

*Work has been carried out to increase the volume of the core-spun cotton-polyester yarn under the influence of microwave current. A technique for conducting experiments has been developed. As a result, it was found that the ultra-high frequency currents have an effect and can be used as a wet-heat treatment. Optimization of the technology for obtaining a bulk core-spun cotton-polyester yarn has been carried out, and the optimal parameters of the wet-heat treatment have been determined.*

На текущий момент развитие текстильного производства направлено на повышение качества производимой продукции, уменьшение её материалоемкости и создание новых прогрессивных технологий. Рынок высокообъемных текстильных нитей представлен в основном нитроновой и полушерстяной пряжей. Пряжа вырабатывает

ся из смеси волокон, имеющих различную усадку (30–50 % высокоусадочного волокна и 50–70 % низкоусадочного). В качестве высокоусадочного компонента используют полиакрилонитрильные волокна или сополимерные волокна на основе акрилонитрила, которые обладают большой (до 30 %) усадкой после влажно-теп-

\* E-mail: [kulandin.vstu@gmail.com](mailto:kulandin.vstu@gmail.com) (A. Kulandin)

ловой обработки. Пряжа из смеси высоко- и низкоусадочных волокон после влажно-тепловой обработки становится высокообъёмной. Это происходит потому, что в процессе влажно-тепловой обработки высокоусадочные волокна укорачиваются в результате релаксации макромолекул, а низкоусадочные почти не меняют своей длины, но, связанные силами трения с высокоусадочными, изгибаются, придавая пряже пушистый вид (большой объём) [1, 2].

Перспективным направлением в данной области является расширение сырьевого состава пряж и нитей, а также увеличение объёмности за счет полиэфирной высокоусадочной нити, находящейся в сердечнике.

Цель работы – разработка технологии получения комбинированной хлопкополиэфирной высокообъёмной нити, а также оценка влияния электромагнитных волн сверхвысокой частоты (СВЧ) на повышение объёмности комбинированной нити.

Объектом исследований являлись комбинированные хлопкополиэфирные нити линейной плотности 35 *текс* × 2.

Получение комбинированной нити проводилось по существующей технологии на кольцевой прядильной машине (рисунок 1), оборудованной дополнительной рамкой для установки бобины с комплексной химической нитью и нитенатяжителем.

Комплексная нить, сматываясь с бобины 2, огибает два направляющих прутка 1, проходит через натяжное устройство 3, нитепроводник 4, связанный с водилкой 6 для ровницы 5, и соединяется с вытянутой ровницей в передней вытяжной паре 7. На выходе из вытяжного прибора комплексная химическая нить и мычка из хлопковых волокон скручиваются и наматываются в паковку 8.

На участке от вытяжного прибора до бегунка осуществляется кручение комбинированной нити в правом направлении. Наматывание нити на выходную паковку происходит за счет отставания бегунка от веретена. Возвратно-поступательное движение кольца с бегунком вдоль оси веретена обеспечивает укладку комбинированных хлопкополиэфирных нитей по высоте выходной паковки [3].

Для лучшего закрепления волокон на поверх-

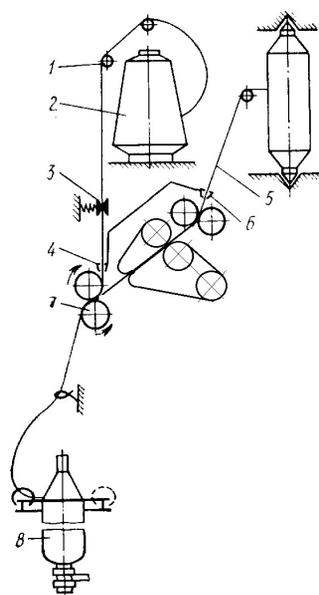


Рисунок 1 – Технологическая схема кольцевой прядильной машины для получения комбинированной нити

ности комплексной химической нити полученную комбинированную нить скручивают в два сложения на тростильно-крутильном оборудовании с противоположным направлением крутки.

Физико-механические показатели комбинированной хлопкополиэфирной нити представлены в таблице 1.

Повышение объёмности текстильных материалов происходит за счет влажно-тепловой обработки горячим воздухом или паром при температуре 100–180 °С. На современных текстильных предприятиях Республики Беларусь влажно-тепловая обработка происходит на терморелаксационных машинах Spirovan (Superba, Япония) и Espero-Volufil (Savio, Италия), где нить перематывается с бобины на бобину.

В настоящее время ведутся разработки технологий, где в качестве нового способа влажно-тепловой обработки применяются различные виды воздействия, такие как волны сверхвысокой частоты, инфракрасное излучение, ультразвуковые волны. В проведенных исследованиях был выбран способ воздействия на комбинированную нить с помощью электромагнитных волн сверхвысокой частоты (СВЧ), так как экспери-

Таблица 1 – Физико-механические показатели комбинированной хлопкополиэфирной нити

Показатели	Значение
Линейная плотность, <i>текс</i>	35x2
Сырьевой состав, %	Полиэфирная высокоусадочная нить – 47,7 Хлопок – 52,3
Относительная разрывная нагрузка, <i>сН/текс</i>	16,1
Относительное разрывное удлинение, %	21
Диаметр, <i>мм</i>	0,745
Объемность, <i>г/см<sup>3</sup></i>	6,2

менты можно провести в обыкновенной бытовой микроволновой печи [4].

Для проведения термофиксации необходимо присутствие дипольных молекул, которые имеют положительный электрический заряд на одной стороне, а на другой – отрицательный. Такие молекулы содержит вода, поэтому до процесса обработки электромагнитными волнами СВЧ комбинированную нить необходимо увлажнить. В электрическом поле, создаваемым магнетроном, молекулы выстраиваются строго по направлению силовых линий поля, положительным зарядом в одну сторону, отрицательным – в другую. При смене направления поля на противоположное молекулы переворачиваются на 180°. Под действием поля молекулы вращаются миллионы раз в секунду, создавая молекулярное трение с выделением тепла. Проникновения микроволн достаточно для полного прогревания высокоусадочной полиэфирной нити, находящейся в сердечнике, и протекания процесса усадки. Процесс усадки материала происходит в три этапа:

1. При достижении большой температуры происходит ослабление межмолекулярной связи и разрушение первоначальной структуры полиэфирной нити, созданной при ее формировании. В результате макромолекулы полиэфира изменяют свою форму и ориентацию в нити. На этом этапе и происходит изменение линейных размеров комбинированной нити.

2. На данном этапе происходит образование новых межмолекулярных связей. Отдельные активные группы макромолекул приближаются друг к другу и образуют новые связи. Подвижность макромолекулярных групп зависит от температуры термообработки. Однако ускорение процесса термообработки за счет повышения

температуры может привести к резкому изменению молекулярной структуры нитей, что повлечет за собой ухудшение физико-механических свойств.

3. На данном этапе происходит закрепление образовавшейся структуры межмолекулярных связей за счет охлаждения нити [5, 6].

Так как использование СВЧ в качестве замены традиционных способов теплового воздействия на текстильные материалы изучается, был проведен эксперимент по повышению объёмности комбинированных нитей. Методика проведения экспериментов состоит из следующих этапов:

1. Определение основных физико-механических показателей комбинированной нити до влажно-тепловой обработки.

2. Подготовка образцов для влажно-тепловой обработки электромагнитными волнами СВЧ.

3. Проведение влажно-тепловой обработки образцов при заданных параметрах мощности и времени.

4. Определение физико-механических показателей комбинированной нити после влажно-тепловой обработки.

5. Оптимизация полученных показателей [7].

Факторами, влияющими на повышение объёмности, были выбраны мощность электромагнитных волн СВЧ и время влажно-тепловой обработки. Нижние интервалы варьирования мощности и времени выбраны исходя из априорной информации проводимых ранее исследований. Данная информация свидетельствует о том, что меньшая мощность и время практически не оказывают влияния на процесс термообработки комбинированной нити. Верхний интервал мощности выбран исходя из максимальных технических условий оборудования,

на котором проводился эксперимент. Верхний интервал времени выбран исходя из проведенных ранее исследований, которые показывают, что увеличение времени влажно-тепловой обработки снижает влажность комбинированной нити ниже минимально допустимого показателя, что не желательно, так как снижается качество комбинированной нити.

Верхний уровень варьирования времени влажно-тепловой обработки выбран исходя из того, что разрабатываемая технология по данному параметру не должна существенно уступать традиционным методам получения подобных нитей на текстильных предприятиях Республики Беларусь. Факторы и интервалы варьирования представлены в таблице 2.

В качестве критериев оптимизации были выбраны:

- линейная плотность  $T$ , *текс*;
- диаметр  $D$ , *мм*;
- объёмность  $V$ , *г/см<sup>3</sup>*;
- разрывная нагрузка  $P$ , *сН/текс*.

По результатам экспериментов в лаборатории кафедры ТТМ УО «ВГТУ» проведен полный факторный эксперимент. Для каждой комбинации уровней входных параметров проводилось два опыта, что позволяет в большей степени оценить их влияние на критерии оптимизации. Получены модели зависимости критериев оптимизации от входных факторов [8, 9]:

- для линейной плотности для комбинированной высокообъёмной нити

$$T = 87,87 + 5,95x_1 + 2,5 * x_2 - 1,93 * x_1 * x_2 - 2,68 * x_1^2 (R^2=0.99); \quad (1)$$

- для диаметра для комбинированной высокообъёмной нити

$$D = 0,998 + 0,498 * x_1 + 0,28 * x_2 - 0,028 * x_1 * x_2 - 0,056 * x_1^2 (R^2=0.99); \quad (2)$$

- для объёмности для комбинированной высокообъёмной нити

$$V = 8,9 + 0,29 * x_1 + 0,25 * x_2 - 0,305 * x_1 * x_2 - 0,72 * x_1^2 (R^2=0.97); \quad (3)$$

- для разрывной нагрузки для комбинированной высокообъёмной нити

$$P = 13,4 + 5,25 * x_1 - 1,02 * x_2 - 3,78 * x_1^2 (R^2=0.99). \quad (4)$$

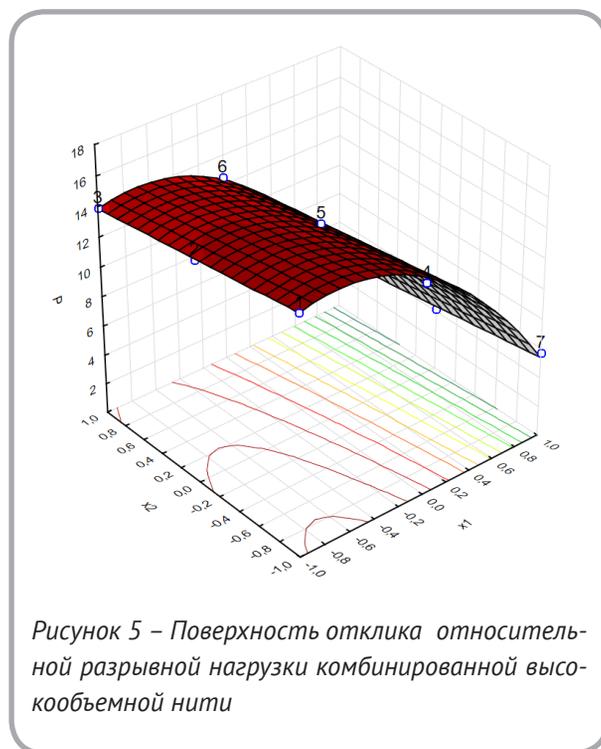
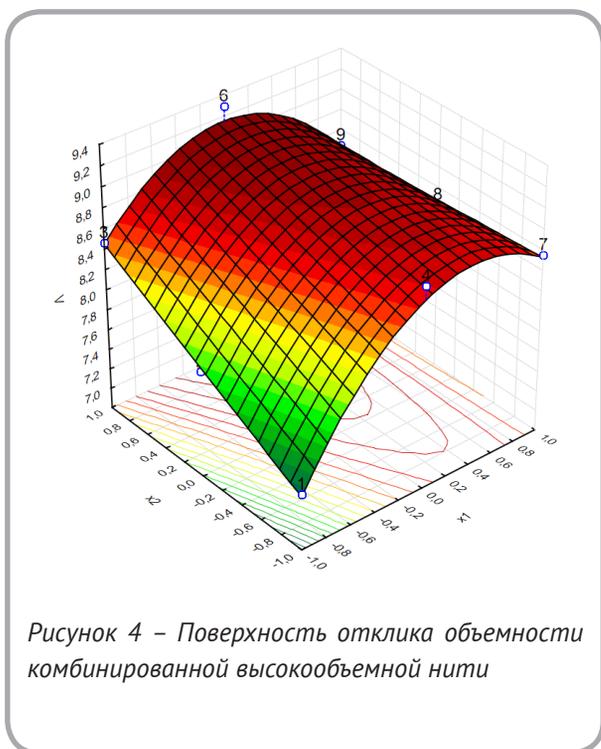
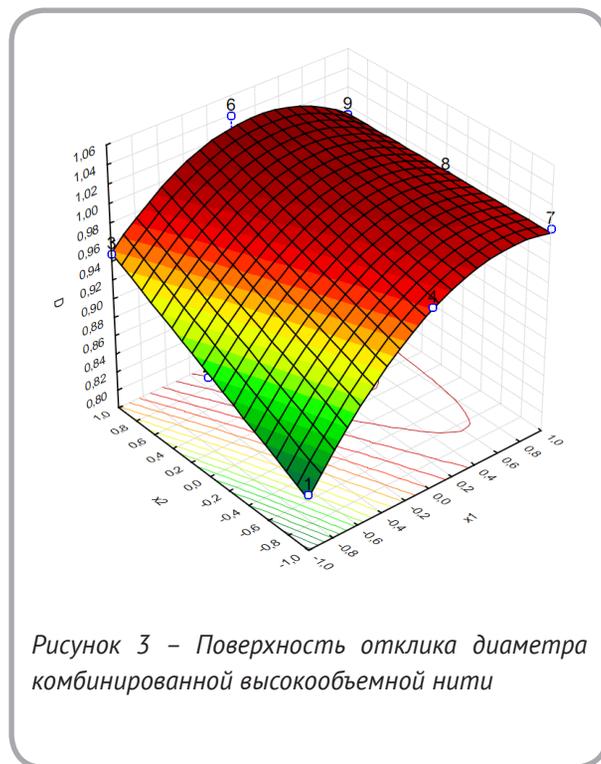
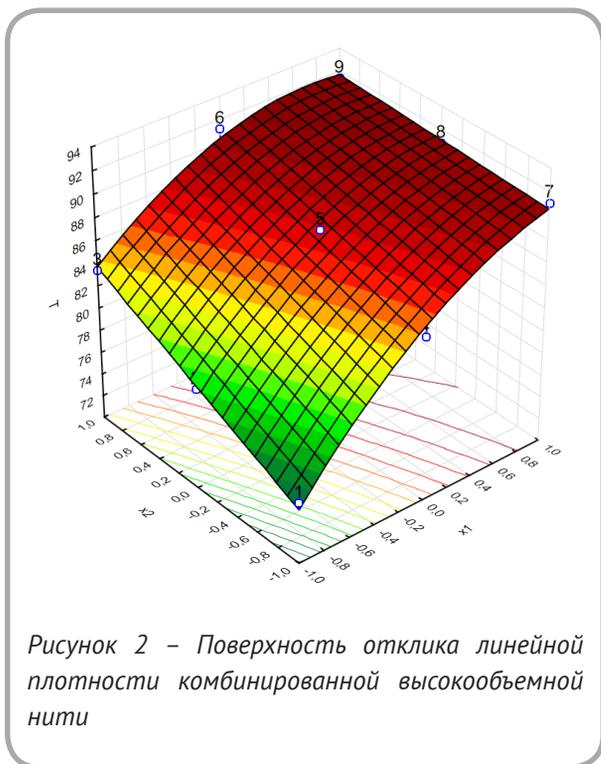
При проведении оптимизации методом главного критерия в качестве главного критерия была выбрана объёмность комбинированной высокообъёмной нити  $V$ . Полученная высокообъёмная комбинированная нить выступает в качестве замены высокообъёмной нити линейной плотности 31 *текс* x 3, производимой на ОАО «Слонимская КПФ».

По регрессионным моделям полного факторного эксперимента построены поверхности отклика для линейной плотности (рисунок 2), диаметра (рисунок 3), объёмности (рисунок 4) и разрывной нагрузки (рисунок 5). Оси  $x_1$  и  $x_2$  графиков представлены в кодированных значениях и обозначают соответственно мощность ( $Bm$ ) и время ( $c$ ) влажно-тепловой обработки.

Установлено, что зависимость физико-механических показателей комбинированной высокообъёмной нити от мощности и времени имеет

Таблица 2 – Таблица интервалов варьирования факторов

Параметр	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Мощность ( $W$ ), <i>Bm</i>	$x_1$	500	750	1000	250
Время ( $t$ ), <i>c</i>	$x_2$	60	90	120	30



криволинейный характер. Увеличение мощности и времени до определенного значения влечет за собой улучшение показателей нити, достигая максимума, а дальнейшее увеличение роста мощности и времени влажно-тепловой обра-

ботки приводит к разрушению структуры комбинированной нити из-за полного испарения влаги.

Для установления максимальных значений параметров проводилась оптимизация процес-

са влажно-тепловой обработки. В результате проведенной оптимизации получены расчетные значения критериев оптимизации в точке оптимума, которые не превышают экспериментальные значения более чем на 5 %, представленные в таблице 3, а также оптимальные значения (факторов) для мощности и времени влажно-тепловой обработки электромагнитными волнами СВЧ соответственно  $W = 746,5 \text{ Вт}$  и  $t = 120 \text{ с}$  ( $x_1 = 0, x_2 = 1$ ).

На рисунке 6 представлен вид комбинированной нити до (а) и после (б) влажно-тепловой обработки электромагнитными волнами СВЧ, что

позволяет наглядно увидеть увеличение объёмности комбинированной нити.

**ВЫВОДЫ**

1. Разработан технологический процесс получения комбинированной хлопкополиэфирной высокообъёмной нити с вложением полиэфирной нити в качестве высокоусадочного компонента и заменой традиционного способа влажно-тепловой обработки на использование электромагнитных волн СВЧ.

2. Установлено, что влажно-тепловая обработка электромагнитными волнами сверхвысокой частоты не уступает традиционным спосо-

Таблица 3 – Оптимальные физико-механические показатели комбинированной высокообъёмной нити

Показатели	Экспериментальные данные	Расчетные данные
Линейная плотность, <i>текс</i>	43,95x2	44x2
Сырьевой состав, %	Полиэфир высокоусадочный – 47,7 Хлопок – 52,3	Полиэфир высокоусадочный – 47,7 Хлопок – 52,3
Относительная разрывная нагрузка, <i>сН/текс</i>	13,2	12,5
Относительное разрывное удлинение, %	39,1	38,6
Диаметр, мм	0,983	1,038
Объёмность, <i>г/см³</i>	8,63	8,95

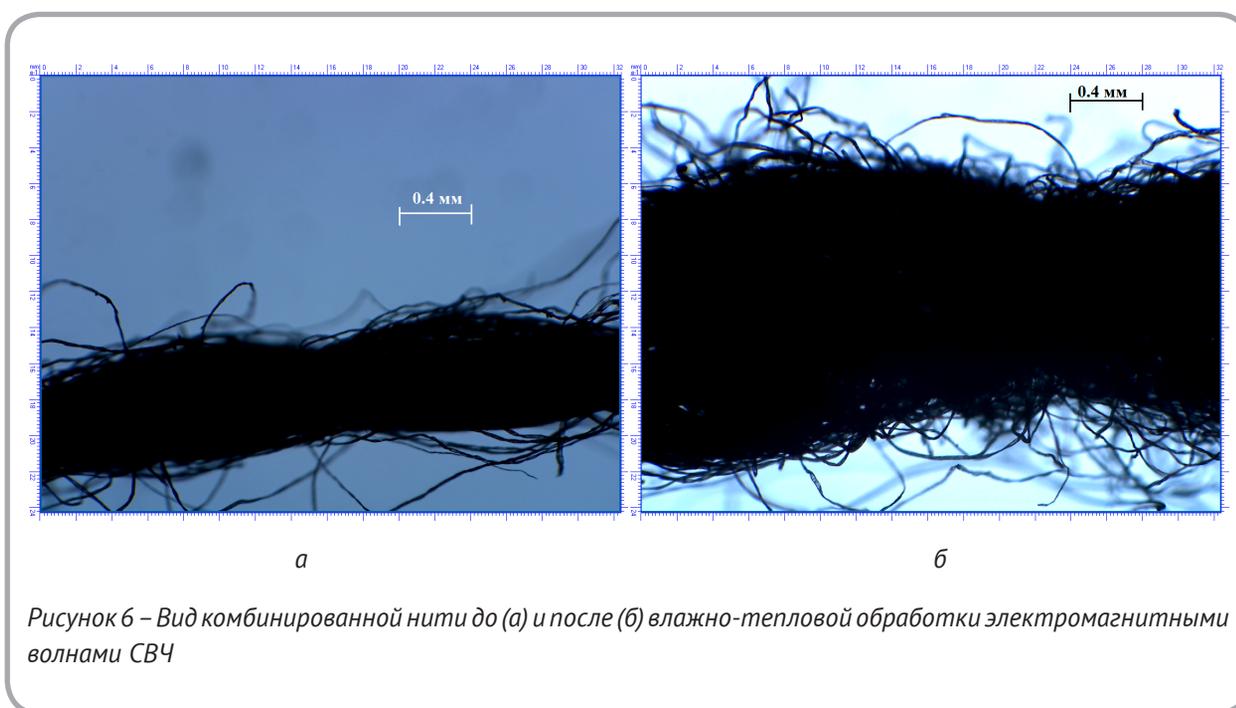


Рисунок 6 – Вид комбинированной нити до (а) и после (б) влажно-тепловой обработки электромагнитными волнами СВЧ

бам влажно-тепловой обработки текстильных материалов и может быть использована в качестве их замены.

3. В результате оптимизации процесса влажно-тепловой обработки комбинированной нити в камере СВЧ установлены рациональные па-

раметры ее работы мощности  $W = 746,5 \text{ Вт}$  и времени  $t = 120 \text{ с}$ , обеспечивающие получение наибольшего эффекта объёмности нити  $V = 8,95 \text{ л/см}^3$ , что способствует снижению материалоемкости тканых и трикотажных изделий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Медвецкий, С. С. (2012), *Переработка химических волокон и нитей*, Витебск, 216 с.
2. Ольшевский, С. А., Медвецкий, С. С. (2013), Исследование процесса термообработки высокообъёмной полиакрилонитрильной пряжи, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Вып. 24, с. 66.
3. Коган, А. Г. (1981), *Производство комбинированной пряжи и нити*, Москва, 14 с.
4. Haggag, K., Ragheb, A., Nassar, S. H., Hashem, M., El Sayed, H., Abd El-Thalouth, I. (2014), Microwave Irradiation and its Application in Textile Industries, National Research Center, Dokki, Cairo, Egypt, 3 p.
5. Кудряшов, Ю. Б., Петров, Ю. Ф., Рубин, А. Б. (2008), *Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения. Учебник для ВУЗов*, Москва, 184 с.
6. Бизюк, А. Н., Жерносек, С. В., Ольшанский, В. И., Ясинская, Н. Н. (2013), *Влияние СВЧ-излучения на физико-механические свойства текстильных материалов*, *Известия высших учебных заведений. Технологии легкой промышленности*, Санкт-Петербург, № 2, 16 с.
7. Бизюк, А. Н., Жерносек, С. В., Ольшанский, В. И., Ясинская, Н. Н., Коган А. Г. (2014), Интенсификация процесса термообработки химических высокоусадочных нитей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*

## REFERENCES

1. Medvetski, S. (2012), *Pererabotka himicheskikh volokon i nitej* [Processing of chemical fibers and yarn], Vitebsk, 216 p.
2. Olshevsky, S., Medvetsky, S. (2013), Determination of optimal parameters of heat treatment of high-bulk acrylic yarn [Issledovanie processa termoobrabotki vysokoob'yomnoj poliakrilonitri'l'noj pryazhi], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, № 24, p. 66.
3. Kogan, A. (1981), *Proizvodstvo kombinirovannoj prjazhi i niti* [Manufacture of core-spun yarn], Moscow, 14 p.
4. Haggag, K., Ragheb, A., Nassar, S. H., Hashem, M., El Sayed, H., Abd El-Thalouth, I. (2014), Microwave Irradiation and its Application in Textile Industries, National Research Center, Dokki, Cairo, Egypt, 3 p.
5. Kudryashov, Y., Petrov, Y., Rubin, A. (2008), *Radiacionnaja biofizika: radiochastotnye i mikrovolnovye jelektromagnitnye izluchenija. Uchebnik dlja VUZov* [Radiation biophysics: radio-frequency and microwave electromagnetic radiation. A Textbook for HEIs], Moscow, 184 s.
6. Bizyuk, A., Zhernosek, S., Yasinskaya, N., Olshansky, V. (2013), The Effect of Microwave Radiation on Physical and Mechanical Properties of Textile Materials [Vlijanie SVCh-izluchenija na fiziko-mehanicheskie svojstva tekstil'nyh materialov], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologii legkoj promyshlennosti – Proceedings*

мета, Вып. 27, с. 9–16.

8. Севостьянов, П. А. (2004), *Математические методы обработки данных : учебное пособие для вузов*, Москва, 256 с.
9. Аттетков, А. В., Галкин, С. В., Зарубин, В. С. (2003), *Методы оптимизации : учебник для вузов*, Москва, 440 с.

*of higher educational institutions. Technologies of light industry*, St. Petersburg, № 2, 16 p.

7. Bizyuk, A., Zhernosek, S., Yasinskaya, N., Olshansky, V., Kogan, A. (2014), Intensification of the heat treatment process of chemical high shrinkage yarns [Intensifikaciya processa termoobrabotki himicheskikh vysokousadochnyh nitej], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, № 27, 9–16 pp.
8. Sevostyanov, P. (2004), *Matematicheskie metody obrabotki dannyh : uchebnoe posobie dlja vuzov* [Mathematical methods of data processing: A Textbook for HEIs], Moscow, 256 p.
9. Attetkov, A., Galkin, S., Zarubin, V. (2003), *Metody optimizacii : uchebnik dlja vuzov* [Optimization Methods: A Textbook for HEIs], Moscow, 440 p.

Статья поступила в редакцию 15. 10. 2018 г.