

## ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ

## INFLUENCE OF ACOUSTIC VIBRATIONS OF ULTRASONIC RANGE ON STRENGTH PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS IN THE PROCESSES OF DRYING

УДК 620.172.242

**А.С. Марущак\*, С.В. Жерносек, В.И. Ольшанский**  
Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13706>

**A. Marushchak\*, S. Zhernosek, V. Alshanski**  
Vitebsk State Technological University

### РЕФЕРАТ

*УЛЬТРАЗВУК, ВЛАЖНОСТЬ, СУШКА, АКУСТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА*

*Представлены результаты проведенных экспериментов процесса сушки, установлено влияние режимных параметров обработки в условиях воздействия акустических колебаний ультразвукового диапазона на прочностные свойства текстильных материалов, что может быть использовано при разработке практических рекомендаций по повышению показателей прочностных свойств изделий. Установлено, что в процессах сушки существует «пороговое» значение мощности излучателя, обеспечивающее при обработке максимальную прочность для конкретного материала. При превышении этого значения прочность образцов начинает снижаться, что свидетельствует о повреждении микроволокон материала. Показаны результаты исследований и обработка экспериментальных данных в виде эмпирических уравнений и графиков, которые могут использоваться в инженерной практике при выборе режимов ультразвуковой термической обработки и сушки.*

### ABSTRACT

*ULTRASOUND, HUMIDITY, DRYING, ACOUSTIC PRESSURE, STRENGTH PROPERTIES*

*The results of the experiments of the drying process are presented, the influence of the regime parameters of processing under the influence of acoustic vibrations of the ultrasonic range on the strength properties of textile materials is detected, which can be used in the development of practical recommendations to improve the strength properties of products. It is determined that in the drying processes there is a "threshold" value of the emitter power, which provides maximum strength for a particular material during processing. When this value is exceeded, the strength of the samples begins to decrease, which indicates damage to the microfibers of the material. Results of researches and processing of experimental data are shown in the form of empirical equations and graphs which can be used in engineering practice at a choice of modes of ultrasonic heat treatment and drying.*

Во всех отраслях промышленности остро стоит вопрос о снижении материальных затрат на выпуск продукции. В текстильной промышленности роль влажно-тепловой обработки достаточно велика при обеспечении требуемых показателей качества материалов из различных волокон, в том числе синтетических.

На предприятиях текстильной и лёгкой про-

мышленности Республики Беларусь применяются традиционные методы сушки и влажно-тепловой обработки (ВТО) материалов. Недостатками таких методов являются:

1. Процесс весьма энергоёмок и длителен.
2. Применяемые сушильные установки крупногабаритны.
3. Необходимость использования сложной и

\* E-mail: [alexeymarushak@mail.ru](mailto:alexeymarushak@mail.ru) (A. Marushchak)

дорогостоящей системы управления для предотвращения деструкции высушиваемых материалов при высоких температурах.

Перспективным вариантом замены или дополнения является сушка в акустических полях высокой интенсивности, обладающая следующими достоинствами:

1. Высокая интенсивность процесса.
2. Обеспечение качественной и эффективной сушки при низких температурах, что важно при работе с термолабильными материалами.

В связи с этим целью работы является определение изменения прочностных характеристик текстильных материалов в условии воздействия акустических колебаний ультразвукового диапазона в процессах сушки.

Особенность сушки в акустических полях высокой интенсивности заключается в том, что ускорение процесса сушки материалов происходит без повышения их температуры, что значительно уменьшает износ, полностью исключает изменение структуры вследствие термодеструкции, образование ворса, усадки. Именно поэтому акустическая сушка является единственным способом, пригодным для сушки термочувствительных, или термолабильных материалов и веществ. Обработка материала акустическими колебаниями ультразвукового диапазона высокой интенсивности благоприятно сказывается на прочностных и потребительских свойствах материалов [1, 2].

Для проведения эксперимента было выбрано четыре образца полиэфирных материалов, производимых ОЭП ОДО «Комета», г. Витебск, технические характеристики которых представ-

лены в таблице 1.

На рисунке 1 показаны кривые комбинированной сушки исследуемых материалов при воздействии ультразвука различной мощности частотой 28 **кГц**, состоящие из двух характерных этапов. На графике **u** – безразмерное влагосодержание, которое определяется по формуле (1)

$$u = 0,01 \cdot W, \quad (1)$$

где **W** – влагосодержание материала в процентах.

Процесс сушки материала состоит из перемещения влаги внутри материала, парообразования и перемещения влаги с поверхности материала в окружающую среду. Для тонких материалов можно пренебречь этапом прогрева материала, таким образом кривая сушки разделяется на две части. Первый этап сушки материала носит линейный характер и называется периодом постоянной скорости сушки, характеризуется испарением влаги с поверхности материала. Второй этап – период падающей скорости сушки, характеризуется испарением влаги из капилляров материала.

Для проведения исследования была разработана опытно-экспериментальная установка, которая состоит из излучателя ультразвуковых колебаний в виде изгибно-колеблющегося диска, соединенного с пьезоэлектрическим преобразователем. К основным параметрам можно отнести возможность изменения частоты УЗ (22–40 **кГц**) и регулировку мощности УЗ (0–100 **Вт**).

Таблица 1 – Технические характеристики исследуемых материалов

Маркировка материала	Вид материала	Поверхностная плотность, $г/м^2$	Разрывная нагрузка, <b>Н</b> продольное/поперечное направление	Разрывное удлинение, % продольное/поперечное направление	Термостойкость, $^{\circ}C$
1. ВФ-14/3	Трикотаж	240±50	955/768	87,6/48,6	145
2. ВФ-12	Трикотаж	420±50	1575/1080	75,6/37,5	145
3. ЛТ-ФТ-350	Нетканый	350±50	724/653	89,9/72,8	150
4. ПЭ1-К1	Нетканый	550±50	1384/512	114,5/66,7	150

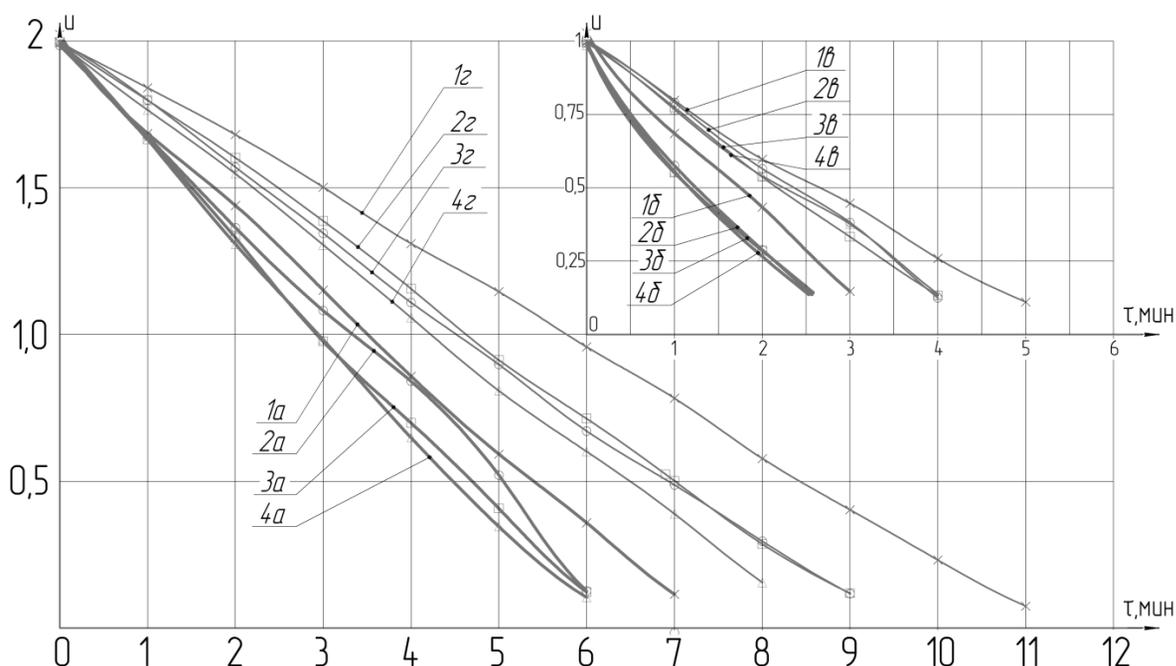


Рисунок 1 – Кривые сушки для исследуемых материалов:

1 – без ультразвука; 2 – мощность УЗ 100 **Вт**; 3 – мощность УЗ 200 **Вт**; 4 – мощность УЗ 400 **Вт**; а – ЛТ-ФТ-350; б – ВФ-14/3; в – ВФ-12; з – ПЭ1-К1

Отбор проб производился по ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия». Климатических параметров лаборатории – по ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения». Климатические параметры для умеренной зоны: относительная влажность воздуха –  $65 \pm 2 \%$ ; температура воздуха –  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Перед проведением испытаний на разрывные нагрузки образцы были обработаны ультразвуковыми колебаниями и инфракрасным излучением. Для нетканых материалов начальная влажность перед сушкой составила 300 %, а для трикотажных образцов – 200 %. Изменение влажности измеряли весовым способом с различными временными промежутками для разных материалов до кондиционной влажности (рисунок 2).

Первые 10 проб были высушены в инфракрасной сушильной камере. Сушка проходила при температуре 75–85  $^\circ\text{C}$ . Другие пробы обрабатывались в ультразвуковой установке, на

различных уровнях мощности ультразвукового генератора: 100 **Вт**; 200 **Вт** и 300 **Вт**. Частота генератора в ходе эксперимента составила 28 **кГц**  $\pm 5 \%$ . После заключительной обработки образцы находились в полном соответствии с ГОСТ 3813-72 в течение 24 часов.

Заключительный этап испытания производился на разрывной машине TIME WDW-20e, которая обеспечивает постоянную скорость опускания нижнего зажима и предназначена для проведения испытаний образцов на растяжения, сжатие и изгиб в диапазоне нагрузок до 20 **кН**.

Эксперимент проводился по двум параметрам: разрывная прочность и относительное удлинение образцов. Максимальная разрывная нагрузка находилась из протоколов этапов эксперимента, получаемых из программного обеспечения разрывной машины, а относительное удлинение рассчитывалось по формуле (2):

$$\Delta l = \frac{l \cdot 100}{A}, \quad (2)$$



Рисунок 2 – 3D-модель установки для комбинированной сушки текстильных материалов с использованием ультразвукового излучения:  
 1 – резонансная камера; 2 – инфракрасные нагреватели; 3 – вентиляторы; 4 – рулонный материал; 5 – УЗ-колебательная система; 6 – блок управления установкой

где  $l$  – положение траверсы в момент разрыва от начального положения,  $мм$ ;  $A$  – зажимная длина элементарной пробы,  $мм$ .

Графические зависимости деформации от нагрузки для трикотажного материала ВФ-14/3 представлены на рисунке 3. Анализ графика показывает, что для трикотажного материала ВФ-14/3 деформация в продольном направлении выше, чем в поперечном примерно на 40 % и что ультразвуковые колебания повышают предельную разрывную нагрузку до определённого значения (примерно на 16–18 %). Для материала ВФ-14/3 максимальная прочность достигается при воздействии ультразвука мощностью 200 **Вт** для образцов, отобранных в продольном направлении, и 100 **Вт** для образцов, отобранных в поперечном направлении.

Графические зависимости деформации от нагрузки для трикотажного материала ВФ-12

представлены на рисунке 4. Для трикотажного материала ВФ-12, как и для ВФ-14/3, установлено, что деформация в продольном направлении выше, чем в поперечном примерно на 60 %. Увеличение разрывной нагрузки материалов после обработки в условиях УЗ-воздействия составило 3–5 %. Для материала ВФ-12 максимальная прочность достигается при воздействии инфракрасным излучением для образцов, отобранных в продольном направлении, и 100 **Вт** для образцов, отобранных в поперечном направлении.

Графические зависимости деформации от нагрузки для нетканого материала ЛТ-ФТ-350 представлены на рисунке 5. Для нетканого материала ЛТ-ФТ-350 видно, что деформация в продольном направлении выше, чем в поперечном примерно на 10 %. Увеличение разрывной нагрузки составляет 5–7 %.

Графические зависимости деформации от нагрузки для нетканого материала ПЭ1-К1 представлены на рисунке 6. Для нетканых материалов ПЭ1-К1 и ЛТ-ФТ-350 видно, что деформация в продольном направлении выше, чем в поперечном примерно на 30 %. Увеличение разрывной нагрузки составляет 5–10 %. Для материала ПЭ1-К1 и ЛТ-ФТ-350 максимальная прочность достигается при воздействии ультразвука мощностью 300 **Вт** для образцов, отобранных в продольном направлении, и 200 **Вт** для образцов, отобранных в поперечном направлении.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено влияние режимных параметров обработки в условиях воздействия акустических колебаний ультразвукового диапазона на прочностные свойства, что может быть использовано при разработке практических рекомендаций по повышению показателей прочностных свойств изделий.

При влажно-термической обработке капиллярно-пористых материалов с применением акустических колебаний ультразвукового диапазона полиэфирных трикотажных и нетканых материалов в процессах сушки существует «пороговое» значение мощности излучателя, обеспечивающее при обработке максимальную прочность для конкретного материала. При превышении этого значения прочность образцов начинает снижаться, что свидетельствует о повреждении микроволокон материала. Иссле-

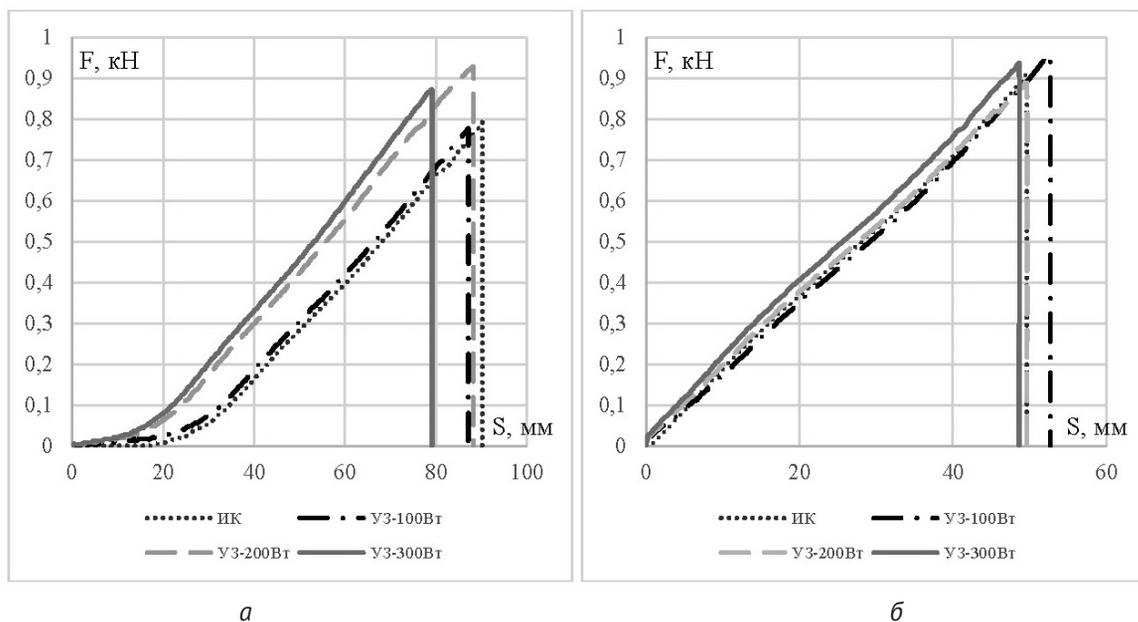


Рисунок 3 – Зависимость деформации от нагрузки для трикотажного материала ВФ-14/3: а – для продольного направления; б – для поперечного направления

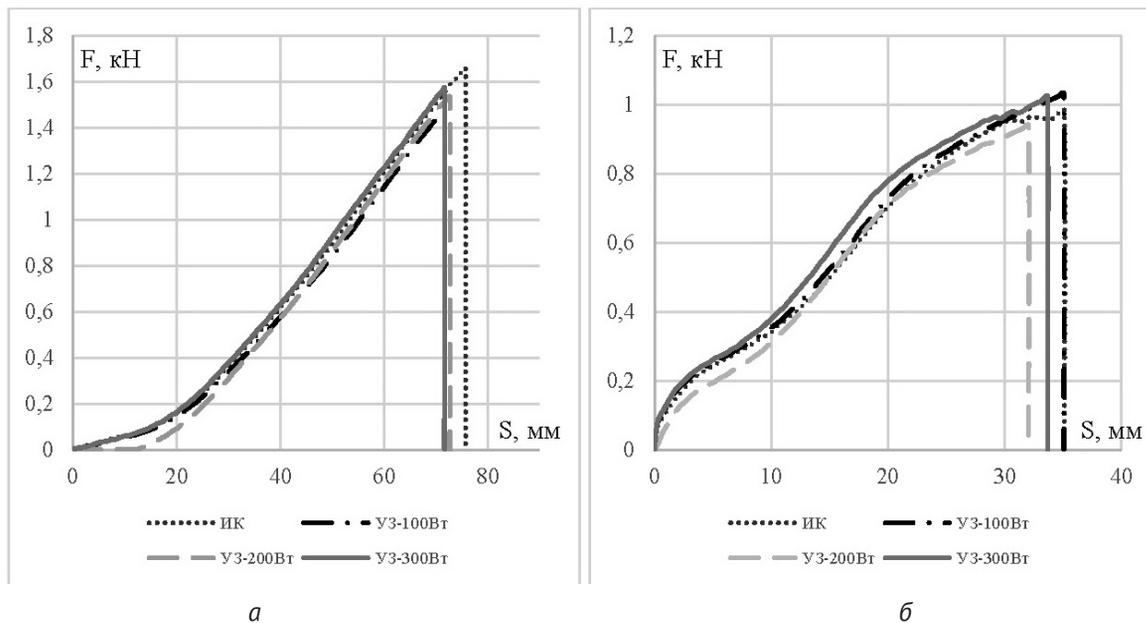


Рисунок 4 – Зависимость деформации от нагрузки для трикотажного материала ВФ-12: а – для продольного направления; б – для поперечного направления

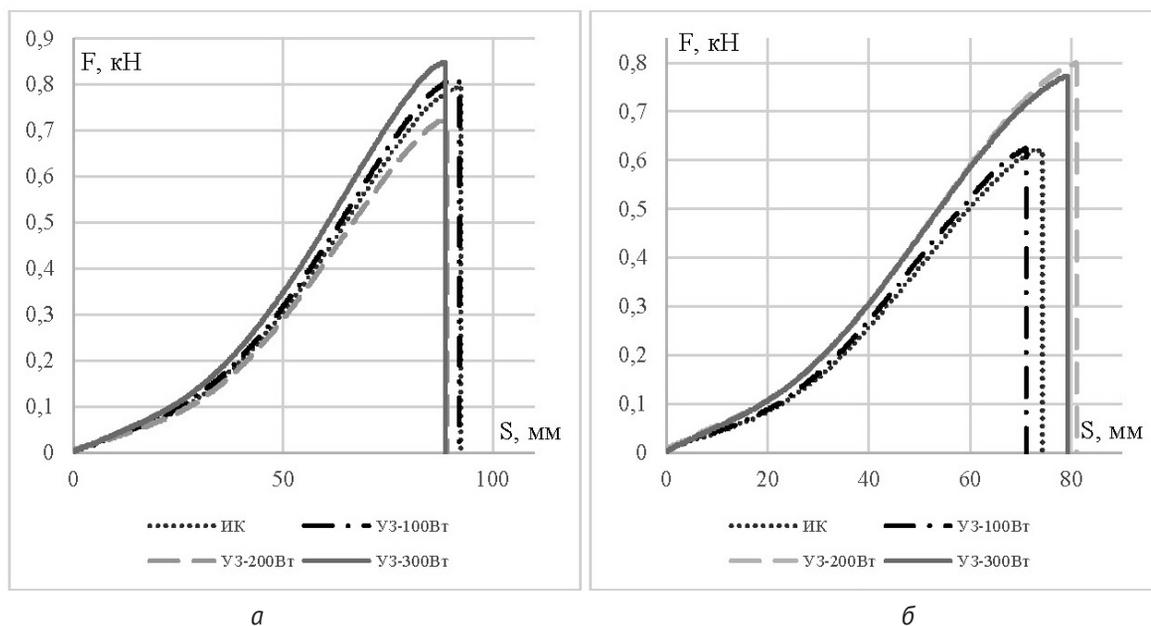


Рисунок 5 – Зависимость деформации от нагрузки для нетканого материала ЛТ-ФТ-350:  
 а – для продольного направления; б – для поперечного направления

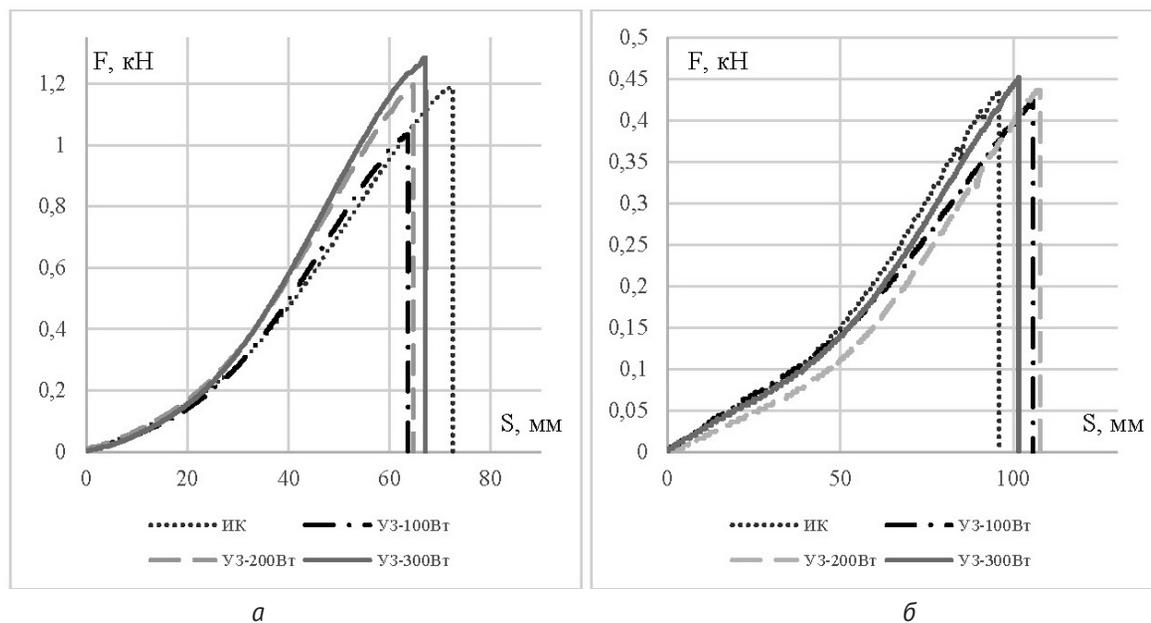


Рисунок 6 – Зависимость деформации от нагрузки для нетканого материала ПЭ1-К1:  
 а – для продольного направления; б – для поперечного направления

дование процесса сушки и ВТО материалов с применением ультразвука позволяют, не прибегая к построению и интегрированию кривой сушки материала, получить экспериментальные уравнения для расчёта основных параметров кинетики сушки. Результаты исследований и обработки экспериментальных данных в виде эмпирических уравнений и графиков могут использоваться в инженерной практике при выборе режимов ультразвуковой термической обработки и сушки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марущак, А. С., Жерносек, С. В., Ольшанский, В. И. (2017), Перспективы применения акустических колебаний ультразвукового диапазона в процессах сушки текстильных материалов, *Материалы докладов международной научно-технической конференции, посвященной Году науки*, Витебск, 2017, С. 63–66.
2. Кульнев, А. О., Жерносек, С. В., Ольшанский, В. И., Ясинская, Н. Н. (2017), Формирование потребительских свойств текстильных материалов при отделке в условиях УЗ-воздействия, *Материалы докладов 51-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов в двух томах*, Витебск, 2017, Т. 1, С. 301–303.
3. Сажин, Б. С. (2013), *Процессы сушки и промывки текстильных материалов*, Москва, 301 с.
4. Хмелев, В. Н. (2007), *Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности*, Барнаул, 416 с.
5. Кошелева, М. К., Голых, Р. Н., Новикова, Т. А., Доровских, Р. С., Хмелев, В. Н., Шалунов, А. В. (2017), Ультразвуковая сушка текстильных материалов, *Международная конференция – семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам*

### REFERENCES

1. Marushchak, A. S., Zhernosek, S. V., Alshanski, V. I., (2017), Prospects of application of acoustic oscillations of ultrasonic range in drying processes of textile materials [Perspektivy primeneniya akusticheskikh kolebanij ul'trazvukovogo diapazona v processah sushki tekstil'nyh materialov], *Proceedings of the international scientific and technical conference devoted to the Year of science*, Vitebsk, 2017, pp. 63–66.
2. Kulnev, A. O., Zhernosek, S. V., Alshanski, V. I., Yasinskaya, N. N. (2017), Formation of consumer properties of textile materials at finishing in the conditions of ultrasonic influence [Formirovanie potrebitel'skih svojstv tekstil'nyh materialov pri otdelke v uslovijah UZ-vozdeystvija], *Proceedings of the 51st international scientific and technical conference of teachers and students in two volumes*, Vitebsk, 2017, Vol. 1, pp. 301–303.
3. Sazhin, B. S. (2003), *Processy sushki i promyvki tekstil'nyh materialov* [Drying and washing processes of textile materials], Moscow, 301 p.
4. Khmelev, V. N. (2007), *Ul'trazvukovye mnogo-funkcional'nye i specializirovannye apparaty dlja intensivkacii tehnologicheskikh processov v promyshlennosti* [Ultrasonic multifunctional and specialized devices for intensification of technological processes in industry], Barnaul, 416 p.

*EDM' 2017*, Новосибирск, 2017, С. 220–223.

6. Сафонов, В. В. (2006), *Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства*, Москва, 405 с.
7. Новикова, Т. А., Дадоходжаева, Н. А., Кошелева, М. К. (2018), Безопасная энергоресурсосберегающая технология процесса сушки текстильных материалов, *Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности*, Москва, 2018, С. 148–150.
5. Kosheleva, M. K., Golykh, R. N., Novikova, T. A., Dorovskikh, R. S., Khmelev, V. N., Shalunov, A. V. (2017), Ultrasonic drying of textile materials [Ul'trazvukovaja sushka tekstil'nyh materialov], *International conference – seminar of young specialists in micro- and nanotechnology and electronic devices EDM' 2017*, Novosibirsk, 2017, pp. 220–223.
6. Safonov, V. V. (2006), *Intensifikacija himiko-tekstil'nyh processov otdelochnogo proizvodstva* [Intensification of chemical and textile finishing processes], Moscow, 405 p.
7. Novikova, T. A., Dadokhodzhaeva, N. A., Kosheleva, M. K. (2018), Safe energy saving technology of drying process of textile materials [Bezopasnaja jenergoresursosberegajushhaja tehnologija processa sushki tekstil'nyh materialov], *Innovative development of light and textile industry*, Moscow, 2018, pp. 148–150.

Статья поступила в редакцию 11. 11. 2019 г.