

Научная статья

УДК 677.1.022-161

doi 10.34216/2587-6147-2021-1-51-22-27

Наталья Сергеевна Кузнецова¹

Анастасия Геннадьевна Шутова²

^{1, 2}Военная академия радиационной, химической и биологической защиты им. Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко, г. Кострома, Россия

¹leto044@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1818-3602>

²toshutova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8874-122X>

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА ОЧЕСКОВОЙ ПРЯЖИ

Аннотация. В статье описываются способы автоматизации технологических процессов в короткой системе прядения при производстве оческовой пряжи. Рассмотрена степень автоматизации всех этапов технологической цепочки. В частности, внедрение цифровых методов управления при использовании автоматического слоеформирующего бункерного питателя поточной линии (устройство защищено патентом РФ), позволяющих повысить качество полуфабрикатов за счет уменьшения длинноволновой неровности и, соответственно, выравнивания рулонов с лентой по массе; применение на кардочесальной машине системы автоматического выравнивания развеса, позволяющей увеличить ровноту формируемой ленты; возможность оснащения прядильной вьюрковой машины датчиками обрывности и системой пневматической автозаправки, позволяющих повысить производительность и уменьшить время простоев, тем самым увеличить коэффициент полезного времени прядильной машины.

Ключевые слова: текстильная промышленность, короткая система прядения, автоматизация технологического процесса, цифровые методы управления, повышение качества, оческовая пряжа, автоматический слоеформирующий бункерный питатель

Для цитирования: Кузнецова Н. С., Шутова А. Г. Внедрение цифровых методов управления в технологические процессы производства оческовой пряжи // Технологии и качество. 2021. № 1(51). С. 22–27. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-1-51-22-27>.

Original article

Natal'ya S. Kuznetsova¹, Anastasiya G. Shutova²

^{1, 2}Marshal of the Soviet Union Timoshenko military Academy of Raiation, Chemical & Biological Defence, Kostroma, Russia

INTRODUCTION OF DIGITAL MANAGEMENT METHODS IN THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FLAX TOW YARN PRODUCTION

Abstract. The ways of automating the process chain in a short spinning system, when producing combed yarn, are described in the article. The degree of automation of all stages of the process chain is the subject of the article. In particular, the introduction of digital control methods, when using an automatic layer forming hopper of the production line (the device is protected by a patent of the Russian Federation), which increases the quality of semi-finished products by reducing long sliver unevenness and, consequently, by aligning the sliver coils by mass; application of the automatic sliver levelling system, which allows to increase the evenness of the formed sliver; on the card; possibility to equip the spinning rotor with breakage sensors and the pneumatic autolevelling system, which allows to increase the productivity and to reduce the down time, increasing the ratio of the useful time of the spinning machine.

Keywords: textile industry, short spinning system, process automation, digital control methods, quality improvement, flax tow yarn, automatic layer forming hopper

For citation: Kuznetsova N. S., Shutova A. G. Introduction of digital management methods in the technological processes of flax tow yarn production // *Tekhnologii i kachestvo* = Technologies & Quality. 2021;1(51): 22–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-1-51-22-27>.

Процесс автоматизации технологической цепочки производства готового продукта представляет собой комплексную последовательность операций по управлению качеством продукции с использованием современных средств контроля и программно-аппаратного комплекса, направленную на регулировку параметров технологического процесса (рис. 1).

Обеспечение контроля качества и автоматического его поддержания с использованием специальных программно-аппаратных комплексов достигается путем применения цифровых методов управления качеством готового продукта.

В качестве наглядного примера рассмотрим технологическую цепочку переработки коротковолокнистого льна вьюрковым способом прядения, представленную на схеме в таблице, которую можно считать относительно новой в производстве.

Значительная часть льняного сырья, перерабатываемого на льнопрядильных фабриках, приходится на долю коротких волокон: очесы трепаного льна; короткое льняное волокно; спуск; прядомые отходы; рвань ровницы; рвань ленты и т. п. [1]. Эти виды коротких волокон перерабатываются по так называемой короткой

системе прядения мокрым или сухим способом, результатом прядения является оческовая пряжа. Подготовительные этапы прядения можно считать классическими.



Рис. 1. Схема автоматизации технологического процесса

Как показано в таблице, в настоящее время не все промежуточные этапы технологического процесса автоматизированы или автоматизированы частично [2].

Т а б л и ц а

Степень автоматизации технологической цепочки производства оческовой пряжи вьюрковым способом

Этапы технологической цепочки	Промежуточный продукт	Степень автоматизации
Поточная линия с автобункером (ПЛ-150-П, ПЛ-КЛ)	Рулон с лентой	Автоматизирован частично
Кардочесальный агрегат (Ч-600-Л1)	Лента в тазу	Автоматизирован
Ленточные машины (ЛЛ-1,2,3-Л1)	Лента в тазу	Автоматизированы недостаточно
Ровничные машины (РМ-216-Л, РН-216-Л)	Катушка с ровницей	
АКДН, АКДС	Катушка с ровницей белой	Автоматизирован
Вьюрковые прядильные машины (двух-; трехвьюрковое АКУ)	Оческовая пряжа	Требует автоматизации
сушка		
трикотаж, ткачество (уток)		

Первым переходом в технологической цепочке выступает поточная линия. Поточная линия – комплекс машин, выполняющих основные

и вспомогательные операции единого технологического процесса, характеризующегося непрерывным перемещением материала по ходу

процесса. Все машины и узлы поточных линий соединены между собой в одну кинематически и технологически увязанную схему. Усовершенствовать поточные линии и повысить автоматизированность процессов можно оснащением их автоматическим бункерным питателем. Обычные бункерные питатели обладают существенным недостатком – они не обеспечивают постоянство линейной плотности слоя, выходящего из бункера, на больших отрезках. В льняной промышленности квадратическая неровнота по массе рулонов ленты, получаемой с поточных линий как с ПЛ-КЛ, так и с более совершенных типа ПЛ-150-П, составляет 12...18 %, а максимальные отклонения могут достигать до 20...25 %.

Разработано и защищено патентом РФ [3] устройство автоматического слоеформирующего бункера (рис. 2). Его технической задачей является обеспечение высокой точности формирования заданной величины линейной плотности

слоя волокнистого материала, которая реализуется за счет применения новой системы управления перемещением подвижной стенки бункера в зависимости от толщины выводимого слоя волокнистого материала, которая определяется с помощью контроллера – измерительного валика.

На рис. 2а представлена схема автоматического бункерного питателя. Основным элементом конструкции является вертикальный бункерный питатель 1 (неподвижные стенки бункера), 2 – подвижная стенка бункера, шарнирно закрепленная в верхней части, 3 – измерительный валик, шарнирно связанный с двуплечим рычагом 4. Блок переключателей 5 смонтирован неподвижно и несет на себе переключатели 6 и 7, электрически связанные с импульсным коммутатором 8 и электродвигателем 9. Редуктор 10 преобразует вращательное движение электродвигателя 9 в поступательное движение тяги 11, механически связанной с подвижной стенкой бункера 2 [4].

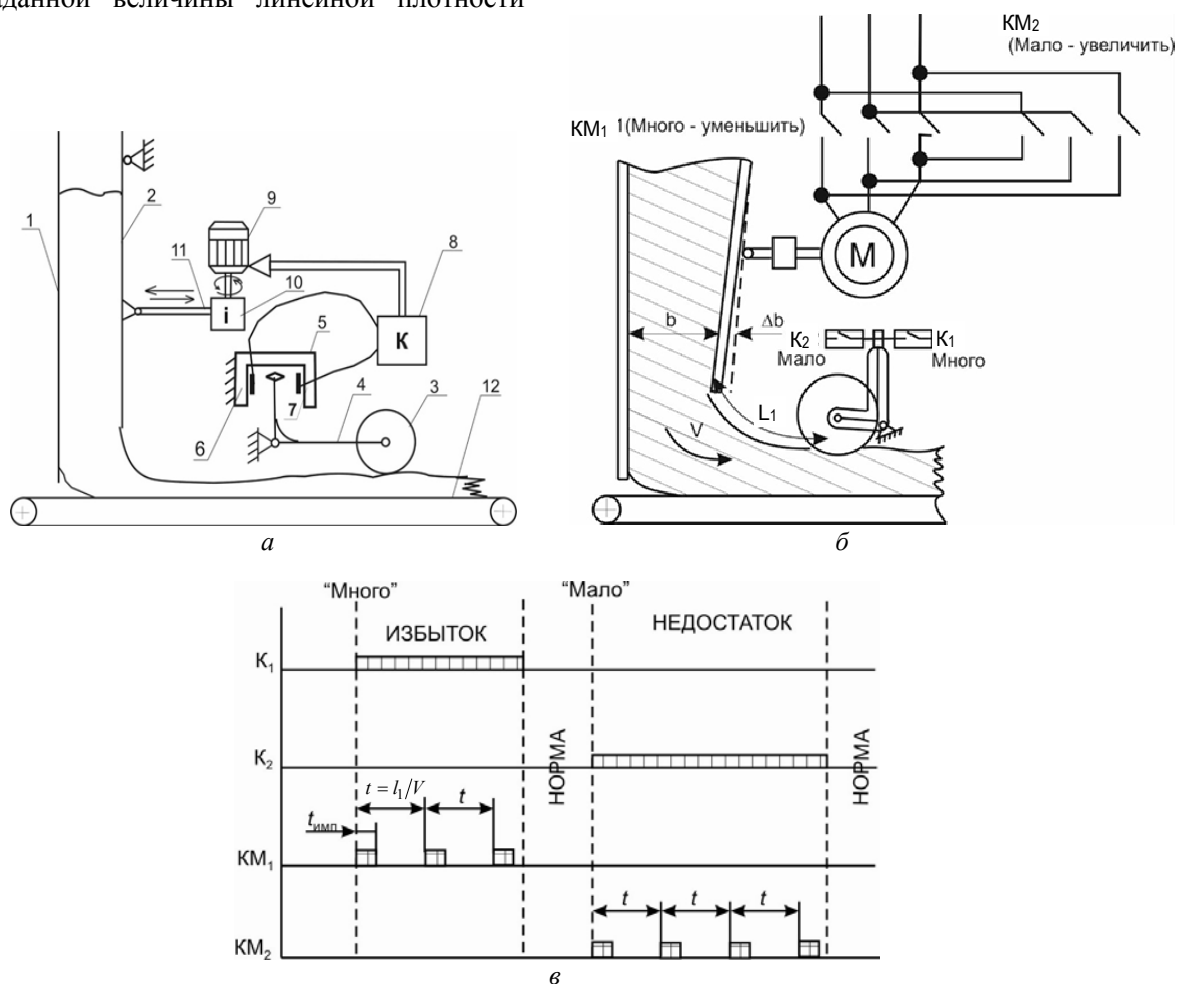


Рис. 2. Автоматический слоеформирующий бункер:

а – принципиальная схема; б – условная принципиальная электрическая схема;

в – диаграмма импульсного управления двигателем привода стенки бункера;

1 – вертикальный бункерный питатель (неподвижные стенки бункера);

2 – подвижная стенка бункера, шарнирно закрепленная в верхней части; 3 – измерительный валик;

4 – двуплечий рычаг; 5 – блок переключателей; 6 и 7 – переключатели; 8 – импульсный коммутатор;

9 – электродвигатель; 10 – редуктор; 11 – тяга; 12 – транспортирующее устройство

На рис. 2б приведена условная принципиальная электрическая схема управления перемещением передней стенки автоматического слоеформирующего бункера.

Работа системы управления схематично приведена на рис. 2в.

Регулирование линейной плотности в указанных устройствах осуществляется за счет изменения ширины выпускного сечения бункера в зависимости от изменения толщины формируемого слоя волокнистого материала на выходе из бункерного питателя. Контроль за толщиной слоя волокна производится с помощью нажимного валика.

Для проектирования данных устройств решена задача о расчете толщины слоя под нажимным валиком (рис. 3) и определена величина перемещения валика в зависимости от изменения объемной плотности волокна для задания величины перемещения стенки бункера. Исходными данными являются:

b_0 – толщина слоя волокна, вышедшего из бункерного питателя;

E_z – модуль сопротивления сжатию, характеризующий механические свойства волокнистого материала при сжатии;

ρ_0 – плотность слоя волокна, вышедшего из бункерного питателя;

ρ^* – предельная плотность слоя волокна, вышедшего из бункерного питателя;

ε^* – предельная относительная деформация;

r – радиус окружности нажимного валика.

Искомая величина – b_i .

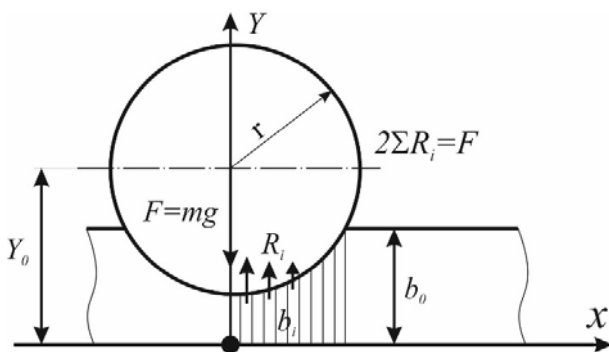


Рис. 3. Модель для расчета толщины слоя под валиком

Волокно, проходя под нажимным валиком, подвергается деформации, и, естественно, возникают напряжения $\sigma(\varepsilon_i)$. Формула зависимости напряжения от относительной деформации [5]

$$\sigma(\varepsilon_i) = K \frac{\varepsilon_i}{(\varepsilon^* - \varepsilon_i)^{\varepsilon^*}}$$

Уравнение окружности: $y = Y_0 \pm \sqrt{r^2 - x^2}$.

Следовательно, толщина под валиком в любой точке

$$b_i = Y_0 - \sqrt{r^2 - x_i^2}$$

Координата центра окружности

$$Y_0 = b_0 + \sqrt{r^2 - x_0^2}$$

Получается, что

$$b_i = b_0 + \sqrt{r^2 - x_0^2} - \sqrt{r^2 - x_i^2}$$

Деформация слоя

$$\varepsilon(x) = \frac{b_0 - b_i}{b_0} = \frac{\sqrt{r^2 - x_0^2} - \sqrt{r^2 - x_i^2}}{b_0}$$

в этом уравнении второе слагаемое является константой для каждого конкретного случая,

для удобства: $\frac{\sqrt{r^2 - x_0^2}}{b_0} = K_1$.

Так как напряжение есть функция от деформации, получается

$$\begin{aligned} \sigma(x) &= K \frac{\sqrt{r^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x_0^2}}{b_0} = \\ &= K \frac{(\varepsilon^* - \frac{\sqrt{r^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x_0^2}}{b_0})^{\varepsilon^*}}{(\varepsilon^* - \frac{\sqrt{r^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x_0^2}}{b_0})^{\varepsilon^*}} = \\ &= K \frac{\sqrt{r^2 - x^2} - K_1}{(\varepsilon^* - \frac{\sqrt{r^2 - x^2} - K_1}{b_0})^{\varepsilon^*}} \end{aligned}$$

При этом создается реакция $R(x) = \sigma(x)S$ (где S – площадь поверхности; $\sigma(x)$ – напряжение, возникающее в сечении слоя), которая является распределенной нагрузкой по всей поверхности соприкосновения, следовательно, выражение реакции надо интегрировать по x . По суммарному уравнению сил: $\sum F_y = 0$, следова-

тельно, $2 \int_0^{x_0} R(x) dx = F$. Чтобы подсчитать реакцию волокна на вес валика требуется определить, какое напряжение возникает в сечениях слоя волокна. Принимается начальное положение такое, что валик лежит на слое волокна, не

продавливая его. Координата центра окружности валика $Y_0 = r + b_0$. Эта величина разбивается на множество элементарных участков dY . Валик постепенно «опускается» в слой волокна. Величина $Y_i = Y_0 - dY$ – новая координата центра окружности валика. Для каждого Y_i подсчитывается общая реакция волокна на текущее положение валика. Считается до тех пор, пока реакция не сравняется с весом валика. Для решения задачи написана программа (рис. 4) в математическом приложении MathCad, результатом которой является значение, определяющее величину перемещения стенки бункера. Результат подается на коммутатор, запуская систему управления.

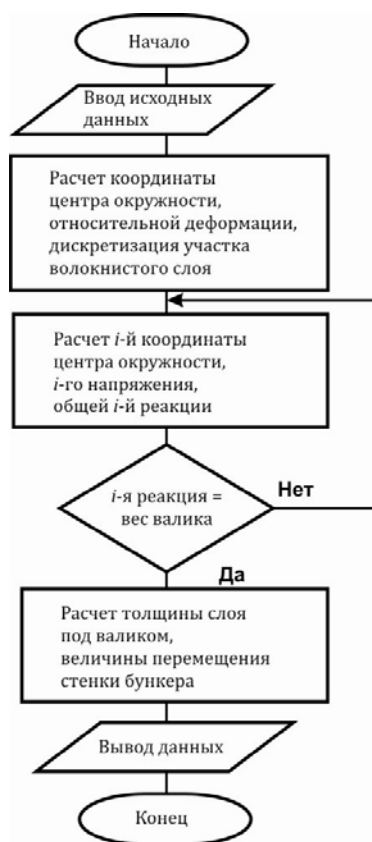


Рис. 4. Алгоритм программы для расчета толщины слоя под нажимным валиком

Достоинствами модернизации поточных линий таким бункерным питателем являются минимальные изменения в конструкции бункерного питателя, простота и экономичность изготовления системы автоматического регулирования [4, 5].

Второй этап технологической цепочки также автоматизирован. Здесь применяется система автоматического выравнивания развеса на кардочесальных агрегатах, которая позволяет увеличить ровноту формируемой ленты.

Следующими этапами в процессе получения оческовой пряжи являются ленточный и ровничный переходы. На ленточных машинах успешно применяются вытяжные приборы с автоматическим регулированием линейной плотности ленты [6]. Ровничная машина является наиболее сложной в эксплуатации и наладке машиной прядильного производства. Этим, по-видимому, объясняется низкий уровень автоматизации этих машин. Решение данной проблемы возможно путем внедрения новых бескруточных ровничных машин, имеющих более простую кинематику и более приспособленных к автоматизации процессов на них [7–10].

Этап прядения в рассматриваемой технологической цепочке осуществляется на вьюрковых прядильных машинах [6, 7]. Так как процесс вьюркового прядения льна относительно новый, его автоматизация находится на стадии разработки. Процесс вьюркового прядения можно автоматизировать, применяя датчики обрыва и пневмозаправку мычки, аналогичные установленным на кольцепрядильных машинах.

На сегодняшний день обрывность при вьюрковом прядении невысокая, но устранение обрыва – трудоемкий и затратный по времени процесс, осуществляемый вручную. Автоматизация останова при обрыве, сигнализация обрыва и последующее применение дополнительного мычкоулавливающего сопла позволит сократить время перезаправки оборудования.

В результате применения различных автоматических и автоматизированных систем в технологических процессах формирования оческовой пряжи повышается как качество полуфабрикатов, так и производительность оборудования. Целесообразно продолжить процесс цифровизации технологического оборудования для получения как льняной, так и оческовой пряжи.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена степень автоматизации технологической цепочки производства оческовой пряжи с применением цифровых методов управления технологическим процессом.
2. Предложен программно-аппаратный комплекс регулирования толщины волокнистого слоя в автоматических бункерных питателях поточных линий.
3. Рассмотрены перспективные пути автоматизации отдельных этапов технологической цепочки производства оческовой пряжи вьюрковым способом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крестьянов С. В., Гинзбург Л. Н. Пути повышения качественного использования льняного очеса и короткого волокна // *Текстильная промышленность*. 2007. № 4. С. 4–7.
2. Кузнецова Н. С. Технологии производства льняной и оческовой вьюрковой пряжи мокрым способом // *Технологии и качество*. 2017. № 1(37). С. 8–12.
3. Патент РФ № 2253708 МПК 01G 23/06 от 19.07.2004 г. Автоматический слоеформирующий бункер. / Жуков В. И., Кузнецова Н. С. Оpubл. 10.06.2005, Бюл. № 16.
4. Кузнецова Н. С., Жуков В. И. Совершенствование поточной линии ПЛ-150-П1 путем оснащения бункерного питателя системой автоматического регулирования // *Вступление России в ВТО и повышение эффективности льнопроизводственного комплекса : материалы науч.-техн. конф.* Вологда, 2006. С. 22–23.
5. Кузнецова Н. С., Жуков В. И. Аналитическое определение деформации порции волокнистого материала в массе при сжатии // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2004. № 6. С. 37–38.
6. Волков В. В., Семенов А. Д., Николаев В. С. Система автоматического регулирования линейной плотности волокнистого материала // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности*. 2013. № 2. С. 68–71.
7. Патент на изобретение RU 2148113 C1, 27.04.2000. Способ формирования некрученой ровницы из льняного волокна / Палочкин С. В., Рудовский П. Н., Егоров Д. Л. Заявка № 99116205/12 от 22.07.1999.
8. Патент на полезную модель RU 90444 U1, 10.01.2010. Устройство для формирования ровницы из льняного волокна / Палочкин С. В., Рудовский П. Н., Соркин А. П., Смирнова С. Г. Заявка № 2009135137/22 от 22.09.2009.
9. Кузнецова Н. С., Шутова А. Г., Жуков В. И. Эффективность вьюркового способа получения льняной пряжи мокрым прядением // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 4(376). С. 68–73.
10. Способы стабилизации условий формирования льняной пряжи на двухвьюрковой прядильной машине / Н. С. Кузнецова, П. Н. Рудовский, А. А. Телицын, С. В. Палочкин // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 3(387). С. 69–74.

REFERENCES

1. Krest'yanov S. V., Ginzburg L. N. Puti povysheniya kachestvennogo ispol'zovaniya l'nyanogo ochesa i korotkogo volokna // *Tekstil'naya promyshlennost'*. 2007. № 4. S. 4–7.
2. Kuznecova N. S. Tekhnologii proizvodstva l'nyanoj i ocheskovoj v'yurkovoj pryazhi mokrym sposobom // *Tekhnologii i kachestvo*. 2017. № 1(37). S. 8–12.
3. Patent RF № 2253708 MPK 01G 23/06 ot 19.07.2004 g. Avtomaticheskij sloeformiruyushchij bunker. / Zhukov V. I., Kuznecova N. S. Opubl. 10.06.2005, Byul. № 16.
4. Kuznecova N. S., Zhukov V. I. Sovershenstvovanie potочноj linii PL-150-P1 putem osnashcheniya bunkernogo pitatelya sistemoy avtomaticheskogo regulirovaniya // *Vstuplenie Rossii v VTO i povyshenie effektivnosti l'noпроизводственного комплекса : materialy nauch.-tekhn. konf. Vologda, 2006. S. 22–23.*
5. Kuznecova N. S., Zhukov V. I. Analiticheskoe opredelenie deformacii porcii voloknistogo materiala v masse pri szhatii // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2004. № 6. S. 37–38.
6. Volkov V. V., Semenov A. D., Nikolaev V. S. Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya linejnoy plotnosti voloknistogo materiala // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti*. 2013. № 2. S. 68–71.
7. Patent na izobretenie RU 2148113 C1, 27.04.2000. Sposob formirovaniya nekruchenoj rovnicy iz l'nyanogo volokna / Palochkin S. V., Rudovskij P. N., Egorov D. L. Zayavka № 99116205/12 ot 22.07.1999.
8. Patent na poleznuyu model' RU 90444 U1, 10.01.2010. Ustrojstvo dlya formirovaniya rovnicy iz l'nyanogo volokna / Palochkin S. V., Rudovskij P. N., Sorokin A. P., Smirnova S. G. Zayavka № 2009135137/22 ot 22.09.2009.
9. Kuznecova N. S., SHutova A. G., Zhukov V. I. Effektivnost' v'yurkovogo sposoba polucheniya l'nyanoj pryazhi mokrogo pryadeniya // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2018. № 4(376). S. 68–73.
10. Sposoby stabilizacii uslovij formirovaniya l'nyanoj pryazhi na dvuhv'yurkovoj pryadil'noj mashine / N. S. Kuznecova, P. N. Rudovskij, A. A. Telicyn, S. V. Palochkin // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2020. № 3(387). S. 69–74.

Статья поступила в редакцию 15.01.2021.
Принята к публикации 11.03.2021.