

## ПОДГОТОВКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ МОКРОГО ПРЕССОВАНИЯ

### TEXTILE WASTE PREPARING FOR THE PRODUCTION OF NONWOVENS PRODUCED BY THE WET PRESSING PROCESS

Е.Л. Зимина\*, А.Г. Коган, В.И. Ольшанский  
Витебский государственный технологический университет

УДК 677.026.4:677.08  
A.L. Zimina\*, A.G. Kogan, V.I. Olshanskiy  
Vitebsk State Technological University

#### РЕФЕРАТ

**ТЕКСТИЛЬНЫЕ ОТХОДЫ, СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА, НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВОЛОКНИСТАЯ МАССА, ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

*Объект исследований – технологический процесс подготовки текстильных отходов к вторичной их переработке.*

*Использованные методы – производственные испытания.*

*Результаты работы – в результате проведенных исследований установлены параметры работы устройства для измельчения волокон на требуемую длину.*

*Область применения результатов – текстильная промышленность.*

*Качество нетканых материалов, изготавливаемых по технологии мокрого прессования, предопределяется свойствами волокнистых отходов. Определяющим свойством является длина. Волокна неравномерные по длине, следовательно, возникает необходимость применения процесса подготовки коротковолокнистых отходов к вторичной переработке, заключающегося в их измельчении.*

*Теоретически и экспериментально установлено, что длина нарезки зависит от скорости подачи материала в зону резания и от скорости вращения режущего инструмента. Оптимальная длина волокон должна быть в пределах от 1 до 6 мм, следовательно, рекомендуемые параметры работы режущего инструмента: величина зазора ротора во втулке 0,02–0,04 мм; частота вращения ротора 1600–3000 мин<sup>-1</sup>; скорость подачи 5–13 м/мин.*

#### ABSTRACT

**TEXTILE WASTE, SYNTHETIC FIBER, NONWOVEN MATERIALS, FIBROUS MASS, GRINDING PROCESS**

*The quality of nonwovens produced by wet pressing technology is determined by the properties of the fibrous waste. The defining feature is the length. The fibers are non-uniform in length. So they must be prepared for the recycling.*

*The parameters of the equipment for cutting of textile waste are determined. The length of cutting length depends on the speed rate of the material in the cutting area and the speed of rotation of the rotor. The optimum length of fibers should be between 1 and 6 mm, therefore, the recommended operating parameters of the cutting tool are: the value of the rotor in the sleeve gap 0,02–0,04 mm; rotor speed 1600–3000 min<sup>-1</sup>; flow rate 5–13 m/min.*

\* E-mail: alenakul26@mail.ru (A.L. Zimina)

*Результаты работы можно использовать при установлении параметров работы оборудования для резания текстильных отходов в мокром состоянии на заданную длину.*

В условиях существующей экологической ситуации в Республике Беларусь перед предприятиями текстильной и легкой промышленности остро стоит проблема использования текстильных отходов. Как правило, из них изготавливают изделия бытового назначения, пряжу большой линейной плотности и нетканые материалы. Однако не все отходы находят применение.

Например, отходы в виде волокон длиной 2-25 мм не используются, а складываются или захороняются. Поэтому возникает важная научно-техническая задача, заключающаяся в переработке таких отходов и использовании их в качестве вторсырья.

На кафедре технологии текстильных материалов УО «ВГТУ» разработана технология получения нетканых материалов мокрого способа формирования, которая включает в себя следующие этапы:

- подготовка волокнистой массы;
- создание однородной массы;
- формирование полотна;
- сушка.

Для изготовления нетканых материалов методом мокрого прессования в качестве основно-

го сырьевого компонента используются отходы стрижки искусственного меха, отходы стрижки ковровых изделий производства ОАО «Витебские ковры». В данную смесь отходов входят полиамидные (капрон), полиакрилонитрильные (нитрон), полиэфирные (лавсан), а также шерстяные волокна.

Качество нетканых материалов, изготавливаемых по данной технологии, предопределяется свойствами волокнистых отходов. Определяющим свойством является длина волокон. Для определения длины волокон в коротковолокнистых отходах использовался метод промера отдельных распрямленных волокон. Определение длины волокон проводилось путем промера одиночных волокон при помощи микроскопа с окулярным микрометром с точностью измерений 0,1 мм.

Диаграмма распределения волокон по классам длины в коротковолокнистых отходах после стрижки представлена на рисунке 1.

Анализ диаграммы распределения свидетельствует о большой неравномерности длины волокон и необходимости применения процесса подготовки коротковолокнистых отходов к вто-



Рисунок 1 – Диаграмма распределения длин волокон в отходах кноп стригальный после стрижки

ричной переработке.

Основная цель подготовки отходов к вторичной переработке при производстве нетканых материалов заключается в получении из коагулированных волокон однородной волокнистой массы, которую можно использовать в композиции. Однако в связи с тем, что большинство волокон по своей природе гидрофобны, не набухают в воде и не фибриллируются при размоле, производство нетканых материалов из отходов имеет свои специфические особенности. Они заключаются в необходимости резки волокон на определенную длину.

Геометрия волокнистых частиц и их природа оказывают значительное влияние на качество проектируемых материалов. Для технологии нетканых материалов мокрого способа формирования длина волокна не может быть выбрана произвольно.

С целью определения оптимальной длины резки отходов был проведен эксперимент. Исследовалась зависимость стойкости материала к истиранию от длины волокон. Были наработаны образцы с использованием волокон различной длины: 14–20 мм, 7–13 мм и 1–6 мм. При производстве нетканых материалов мокрого способа формирования с использованием измельченных отходов различной длины нарезки длина оказывает значительное влияние на сцепляемость волокон готового полотна (рисунок 2). При увеличении длины частиц стойкость к исти-

ранию готового полотна снижается. В процессе происходит постепенное разрыхление материала, удаление волокон из его структуры, что приводит к потере массы, уменьшению толщины.

Из рисунка 2 видно, что минимальные потери массы материала (10 %) наблюдаются при длине нарезки 1–6 мм, после 200 циклов потерь не наблюдается.

Таким образом, установлено, что длина волокон должна быть в пределах от 1 до 6 мм. Волокна необходимо измельчать на строго данный интервал длин, так как даже небольшое количество непрорезанных волокон способствует хлопьеобразованию при диспергировании и снижает прочность нетканых материалов.

В промышленности широко используется оборудование для резки текстильных материалов. Наиболее приемлемым для измельчения является процесс резания по принципу ножниц. Исследованием данных процессов занимались академик Горячкин В.П., Крамаренко Ю.Б. В их работах рассматривается механика ножниц, описывается методика экспериментов, приводятся некоторые результаты, которые могут быть применены к резанию текстильных материалов. Вопросы геометрии ножниц изложены также в работах Глебова И. Т. [7].

Однако необходимо отметить, что процесс резания, описанный в данных работах, осуществляется в сухом состоянии. Основным недостатком сухого измельчения текстильных материалов

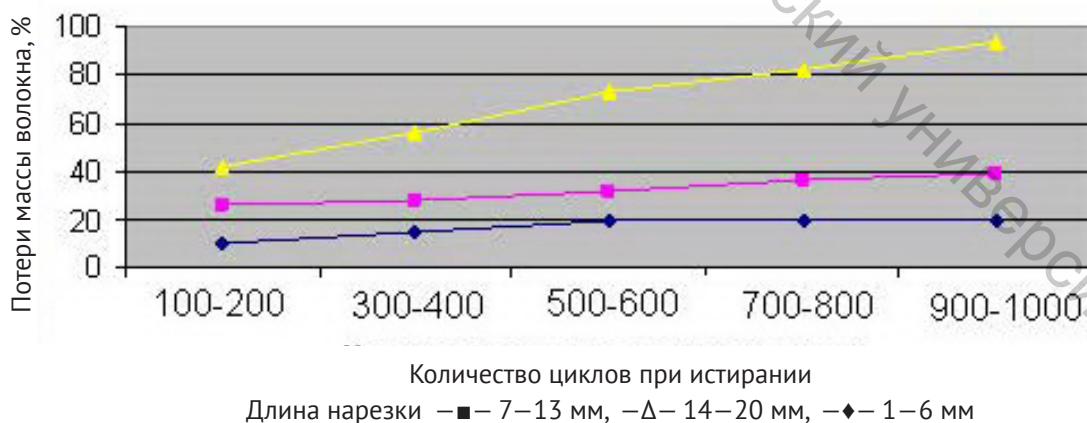


Рисунок 2 – Потери массы полотна при истирании в зависимости от длины нарезки

– оплавление концов синтетических волокон в месте среза. Это объясняется термопластичностью большинства волокон, а также деформацией их под давлением. Наличие оплавленных концов волокон не позволяет при диспергировании их в воде при формировании полотна разделить на элементарные волокна. Поэтому для резки волокон рекомендуются нарезка в мокром состоянии с предварительной пропиткой различными составами.

Рекомендаций по выбору режущего инструмента, определению параметров работы оборудования, расчету необходимого скоростного режима при измельчении упругопластичных материалов в мокром состоянии не существуют.

Для измельчения текстильных отходов в мокром состоянии на заданную длину необходимо определить параметры работы оборудования.

Подготовка волокнистых материалов заключается в придании ему определенной степени гидратации, обеспечить гибкость волокон, пластичность, лучший контакт и связь волокон в полотне; придании нетканому материалу путем укорочения волокон требуемую структуру и физические свойства (объемный вес, пухлость, пористость, впитывающую способность и др.) [2].

Размол текстильных отходов ведется во влажном состоянии при концентрации волокнистой массы 2–8 % в устройствах непрерывного действия. Схема узла резания представлена на рисунке 3. Устройство состоит из вращающегося полого ротора, соединенного непосредственно с электродвигателем, и неподвижного статора (кожуха), соединенного с маховичком присадочного механизма. Ротор и статор неразъемные и изготовлены из отдельных отливок хромистой стали или фосфористой бронзы (при работе в слабокислой среде).

Независимо от типа размалывающего аппарата принцип размола один и тот же. Он заключается в том, что волокнистая суспензия непрерывным потоком поступает к ножам рабочего органа аппарата, состоящего из неподвижно закрепленных ножей (статора) и вращающихся ножей, расположенных на барабане, конусе или диске (роторе). Проходя между ножами ротора и статора, зазор между которыми можно регулировать, волокна подвергаются режущему действию кромок ножей и укорачиваются или расщепля-

ются в продольном направлении, раздавливаются торцовыми поверхностями ножей.

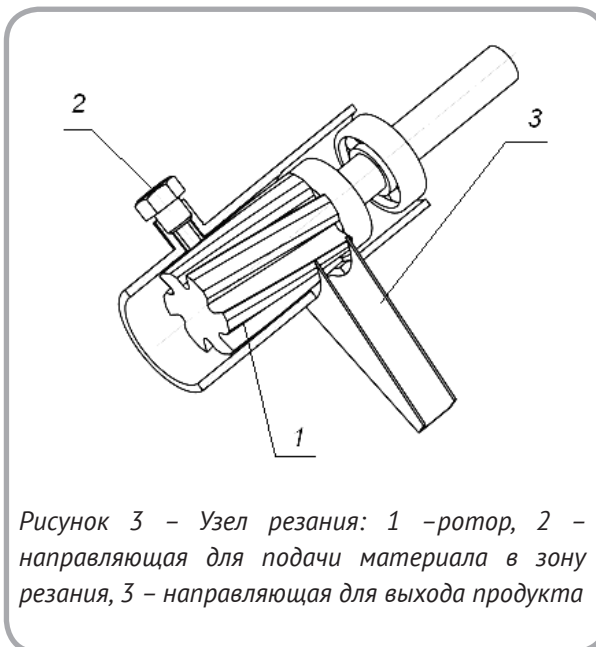


Рисунок 3 – Узел резания: 1 – ротор, 2 – направляющая для подачи материала в зону резания, 3 – направляющая для выхода продукта

Число ножей на роторе зависит от его диаметра  $D_\phi$  (м):

$$z = k\sqrt{D_\phi}, \text{ шт}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от назначения и конструкции ножей (прямые или спиралеобразные) [3].

Согласно В.Ф. Боброву [3] установлено, что при резании материала толщиной  $t_m$  (м) и подачей на зуб  $s_z$  максимальное число ножей  $z$  может быть определено по формуле

$$z = \frac{0,2D_\phi}{t_{m\max}^{0.5} \cdot s_{z\max}^{0.5}} \quad (2)$$

Из формулы следует, что при увеличении толщины волокнистой массы и скорости подачи число ножей ножевого барабана должно быть уменьшено. В этом случае  $t_m$  – расстояние между двумя зубьями по торцу – торцевой шаг равен

$$t_m = \frac{\pi \cdot D_\phi}{z}, \text{ м}. \quad (3)$$

Расстояние  $t_0$  между двумя зубьями вдоль оси ротора – осевой шаг. Связь между осевым и торцевым шагами выражается формулой

$$t_0 = t_m \cdot \operatorname{ctg} \gamma, \text{ м.} \quad (4)$$

Передняя поверхность ножа ротора является линейчатой винтовой поверхностью. На рисунке 4 представлены основные геометрические параметры осевого цилиндрического ротора.

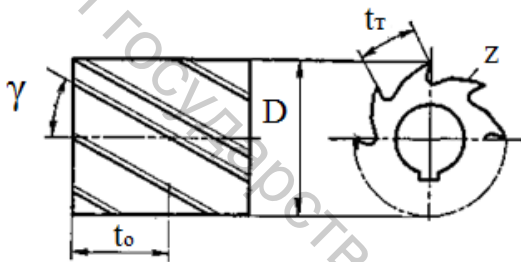


Рисунок 4 – Геометрические параметры ротора:  $\gamma$  – угол наклона винтовой канавки,  $t_r$  – торцевой шаг,  $t_0$  – осевой шаг,  $z$  – число ножей

Вращение ротора является движением резания. Скорость резания определяется по формуле [2]

$$V_{рез} = \frac{\pi \cdot D_{\phi} \cdot n_{\phi}}{1000}, \text{ м/с} \quad (5)$$

где  $n_{\phi}$  – частота вращения ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Скорость резания равна окружной скорости вращения ротора.

При резании происходит сочетание направлений движения ротора и материала.

Режимом резания является совокупность значений скорости резания  $V_{рез}$  и скорости подачи  $V_{нод}$ . Возможны три варианта регулирования процесса резания: изменение одной скорости подачи или одной скорости резания; одновременное, зависимое и прямо пропорциональное изменение скорости резания и подачи; зависимое непропорциональное изменение скоростей

резания и подачи.

Подача – относительное перемещение материала к ножевому барабану при его вращении, осуществляется в горизонтальной плоскости. При заданной длине нарезки  $l$  (м)

$$V_{нод} = \frac{l}{t}, \text{ м/с} \quad (6)$$

где  $t$  – время продвижения материала на длину  $l$ , с.

Угловая скорость ротора

$$W_{\phi} = \frac{2\pi}{z \cdot t} \quad \text{или} \\ W = \frac{2\pi \cdot V_{нод}}{z \cdot l}, \text{ с}^{-1}, \quad (7)$$

где  $z$  – количество ножей, шт.

Следовательно, скорость подачи равна:

$$V_{нод} = \frac{z \cdot l \cdot W_{\phi}}{2\pi} \quad \text{или} \\ V_{нод} = l \cdot n_{\phi} \cdot z, \text{ м/с.} \quad (8)$$

Тогда длина резки будет равна

$$l = \frac{V_{нод}}{n_{\phi} \cdot z}, \text{ м.} \quad (9)$$

Формула 9 может быть использована для определения длины резки при заданных параметрах работы устройства. На рисунке 5 представлены зависимости длины нарезки от скорости подачи материала и частоты вращения ротора.

Для подтверждения расчетных значений был проведен эксперимент. Принятые при проведении эксперимента параметры работы измельчающего устройства выбраны на основании расчетных данных и представлены в таблице 2.

В результате указанных воздействий волокна при размоле в водной среде претерпевают значительные изменения как в структуре, так и

в физико-химических свойствах. На рисунке 6 представлены волокна до размола и после. Размол производился в водной среде с добавлением смачивателя ОП-7.

Судить о характере распределения волокон в волокнистой массе по длине можно по диаграмме распределения, представленной на рисунке 7.

Для волокон рассчитана среднеарифметическая длина  $L_a$  [5]:

$$L_a = \frac{l_1 n_1 + l_2 n_2 + l_i n_i}{n_1 + n_2 + n_i} = \frac{197,1}{100} = 1,971 \text{ , мм, (10)}$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_i$  – количество отрезков длиной  $l_1, l_2, \dots, l_i$  соответственно.

Анализ диаграммы распределения свидетельствуют о том, что в процессе размола в водной среде получена волокнистая масса необходимой длины резки 1,5–2,5 мм, что подтверждает расчеты. Теоретически при используемых параметрах работы оборудования длина резки равна 1,9 мм (рисунок 5).

**ВЫВОДЫ**

Для получения качественных нетканых материалов из текстильных отходов важным этапом является процесс подготовки волокнистой массы в виде размола. Длина резки зависит от скорости подачи материала в зону резания и от скорости вращения ротора. Оптимальная длина волокон должна быть в пределах от 1 до 6 мм, следовательно, рекомендуемые параметры ра-

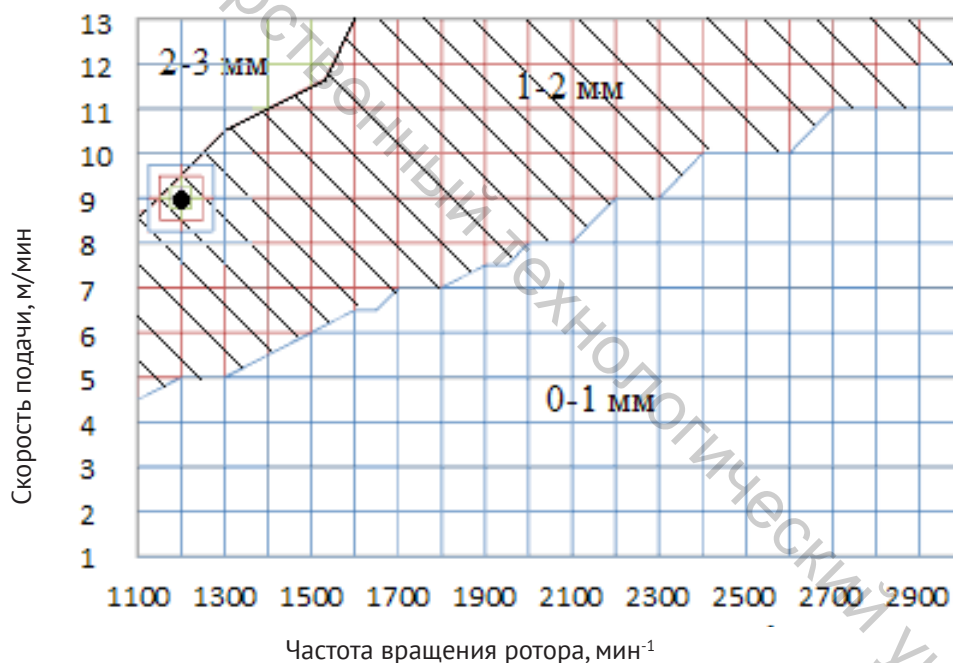


Рисунок 5 – График зависимости длины резки от параметров работы устройства для измельчения

Таблица 2 – Основные конструктивные параметры устройства для измельчения при проведении испытаний

Показатель	Единицы измерения	Значение
Конечный продукт	-	волокнистая масса
Зазор ротора во втулке	мм	0,02-0,04
Частота вращения ротора	мин <sup>-1</sup>	1200
Скорость подачи	м/мин	9





Рисунок 6 – Внешний вид волокон до (а) и после размола (б)

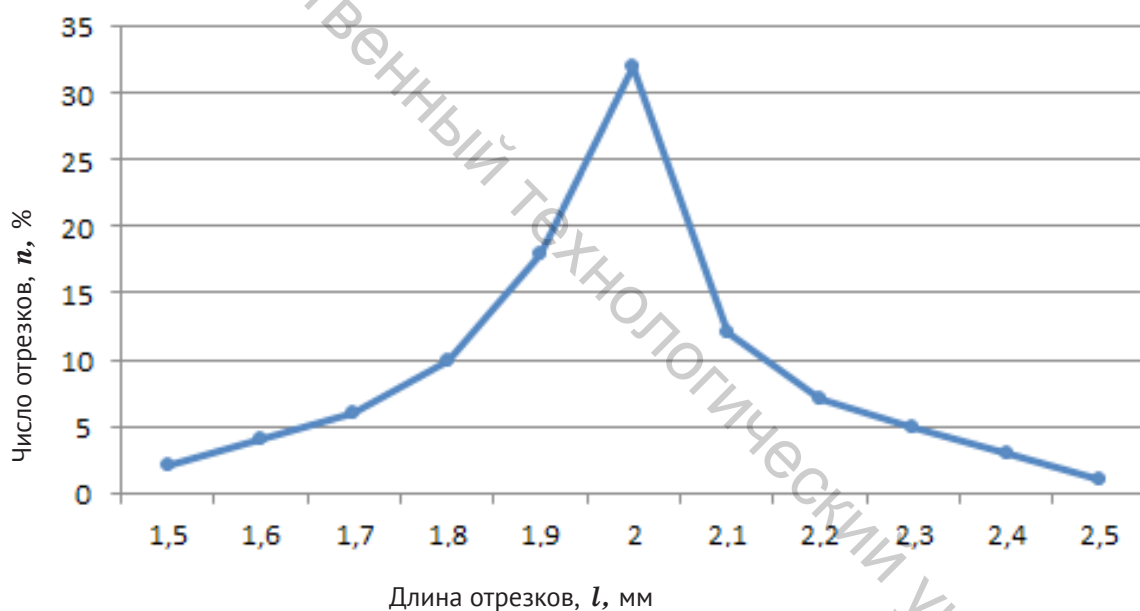


Рисунок 7 – Диаграмма распределения длин волокон в волокнистой массе после размола в водной дисперсии

боты режущего инструмента: величина зазора ротора во втулке 0,02–0,04 мм; частота вращения ротора 1600–3000 мин<sup>-1</sup>; скорость подачи 5–13 м/мин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кулаженко, Е.Л., Коган, А.Г. (2008) Использование текстильных отходов при производстве многослойных материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2008, № 15, С. 81-83.
2. Иванов, С.Н. (2006), *Технология бумаги*, Москва, 697 с.
3. Бобров, В.Ф. (1975), *Основы теории резания металлов*, Москва, 344 с.
4. Чукасова-Ильюшкина, Е.В., Ринейский, К.Н. (2007), Автоматизированный контроль качества подготовки коротковолокнистых отходов, Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности, *Сборник материалов конференции*, Иваново, 2007, С. 139–140.
5. Кукин, Г. Н., Соловьев, А. Н. (1985), *Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы)*, Москва, 216 с.
6. Дулькин, Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. (2007), *Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги*, Архангельск, 118 с.
7. Глебов, И.Т. (2001), *Резание древесины*, Екатеринбург, 151с.

## REFERENCES

1. Kulazhenko, E.L., Kogan, A.G. (2008) The Use of textile waste in the production of multilayer materials [Ispolzovanie tekstilnyih othodov pri proizvodstve mnogosloynnyih materialov], *Vestnik of Vitebsk state technological University*, 2008, № 15, p.81-83.
2. Ivanov, S.N. (2006), *Tehnologiya bumagi* [Paper Technology], Moscow, 697 p.
3. Bobrov, V.F. (1975), *Osnovyi teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting], Moscow, 344 p.
4. Chukasova-Ilyushkina, E.V., Rineyskiy, K.N. (2007), Automated quality control of the preparation of the short fiber waste [Avtomatizirovannyiy kontrol kachestva podgotovki korotkovoloknistyih othodov], Modern high technologies and advanced materials for textile and light industry, *Conference proceedings*, Ivanovo, 2007, p. 139-140.
5. Kukin, G.N., Solovev, A.N. (1985), *Tekstilnoe materialovedenie (ishodnyie tekstilnyie materialy)* [Of textile materials (source materials)], Moscow, 216 p.
6. Dulkin, D.A., Spiridonov, V.A., Komarov, V.I. (2007), *Sovremennoe sostoyanie i perspektivyi ispolzovaniya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi* [Current status and prospects of using recycled fiber from waste paper in the world and domestic paper industry], Arkhangelsk, 118 p.
7. Glebov, J.T. (2001), *Rezanie drevesinyi* [Cutting wood], Ekaterinburg, 151 p.

Статья поступила в редакцию 30. 09. 2016 г.