



УДК 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.2.121

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ЛИСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ*

Е.О. Окулова, асп.

А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: e.okulova@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru

В настоящее время при производстве массовых волокнистых полуфабрикатов для бумаги и картона используется лиственная древесина. В России это преимущественно древесина березы и осины в разных соотношениях. Основные структурные элементы лиственной древесины в готовых полуфабрикатах – волокна либриформа сосудов. Анатомически волокна либриформа очень трудно различить между собой, но волокна сосудов имеют характерные диагностические признаки – строение перфорационной пластинки. У древесины осины она простая, у древесины березы – лестничная со многими перегородками. На основе указанных особенностей ранее авторами были разработаны метод компьютерной визуализации и алгоритм программы для распознавания волокон сосудов осины и березы. Данная программа предназначена для статистического анализа породного состава волокон древесины по микрофотографиям. Программа апробирована на образцах сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из 100 % древесины осины и березы. Смеси готовили весовым методом с заданным соотношением волокон (шаг 10 %). В результате исследований установлено несовпадение ожидаемого и фактического количества сосудов осины и березы. Для оценки влияния соотношения пород лиственной древесины на свойства полуфабрикатов в лабораторных условиях смоделированы три способа получения полуфабрикатов, которые преимущественно используются при переработке древесины осины и березы: варка с зеленым щелоком, натронно-содовым способом и сульфатная варка. Из этих полуфабрикатов получены лабораторные образцы смешиванием их весовым методом (шаг 20 %) в интервале от 0 до 100 % одной из пород. Размол проводили в мельнице Йокро до 20 °ШР. Выполнен анализ основных показателей физико-механических свойств (разрывная длина, сопротивление раздиранию, собственная прочность волокна) лабораторных отливок из полуцеллюлозы (125 г/м²) и беленой сульфатцеллюлозы (60 г/м²). Обнаружено различие между расчетным и фактическим соотношением количества сосудов в смесях с заданным процентным соотношением. Исследована зависимость

*Работа выполнена в Инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

соотношения композиционного состава на показатели физико-механических свойств. Показана динамика ухудшения прочностных свойств лабораторных образцов при увеличении в их композиции доли осинового волокна.

Ключевые слова: сосуды лиственной древесины, компьютерная визуализация, разрывная длина, сопротивление раздиранию, собственная прочность волокна.

Введение

Определение количественного соотношения породного состава сырья, поступающего на бумагоделательную машину, является одной из ключевых проблем обеспечения стабильного качества продукции. Применительно к отечественной целлюлозно-бумажной промышленности в первую очередь о соотношении древесины осины и березы в щепе, поступающей на варку. До настоящего времени ни на одном из предприятий не ведется такой учет ввиду отсутствия методов экспресс-анализа.

Наиболее точным и малозатратным является метод определения породного состава волокон на основе морфологических признаков.

Основные структурные элементы древесины лиственных пород, волокна либриформа и сосуды, как известно, выполняют соответственно механическую и проводящую функции [2, 11]. Основная часть волокон в составе целлюлозного полуфабриката, полученного из древесины осины и березы, представляет собой тонкостенные волокна либриформа. Характерные признаки таких волокон, например наличие мелких косо расположенных щелевидных пор у либриформа осины, нивелируются в ходе технологических операций. Следовательно, надежно идентифицировать количество осины или березы в целлюлозной массе на основе морфологических признаков либриформа не представляется возможным.

Однако древесина осины и березы существенно отличается строением сосудов. У березы стенки сосудов имеют многочисленные мелкие окаймленные поры в количестве 12...18 рядов по ширине клеточной стенки, у осины – крупные окаймленные поры в количестве 6...8 рядов по ширине сосуда [5, 11]. Эти отличия в анатомическом строении сосудов березы и осины представляют достаточно явные признаки для диагностирования этих пород.

Кроме того, у сосудов есть дополнительные еще более существенные морфологические отличия, связанные с особенностями формирования данного вида клеток в живой древесине.

Сосуды ранней и поздней древесины у березы и осины одинаковы по размеру и состоят из отдельных клеток, так называемых члеников сосудов, расположенных одна над другой вдоль ствола (рис. 1). Данные членистые образования в совокупности достигают длины нескольких метров [9]. Размеры отдельных клеток в среднем: у березы – длина 0,9 мм, толщина 6 мкм, у осины – 0,7 мм и 5 мкм соответственно [3].

Отдельные членики сосудов соединены перфорационными перегородками (пластинками). У березы данные перфорационные пластинки имеют

лестничную форму с множественными удлиненными параллельными отверстиями и остающимися между ними перегородками (рис. 1, *а*). Указанные особенности сохраняются в сосудах, находящихся в составе целлюлозного полуфабриката после прохождения технологических операций.

Сосуды осиновой древесины соединены между собой простыми перфорационными перегородками без каких-либо отличительных особенностей (рис. 1, *б*).

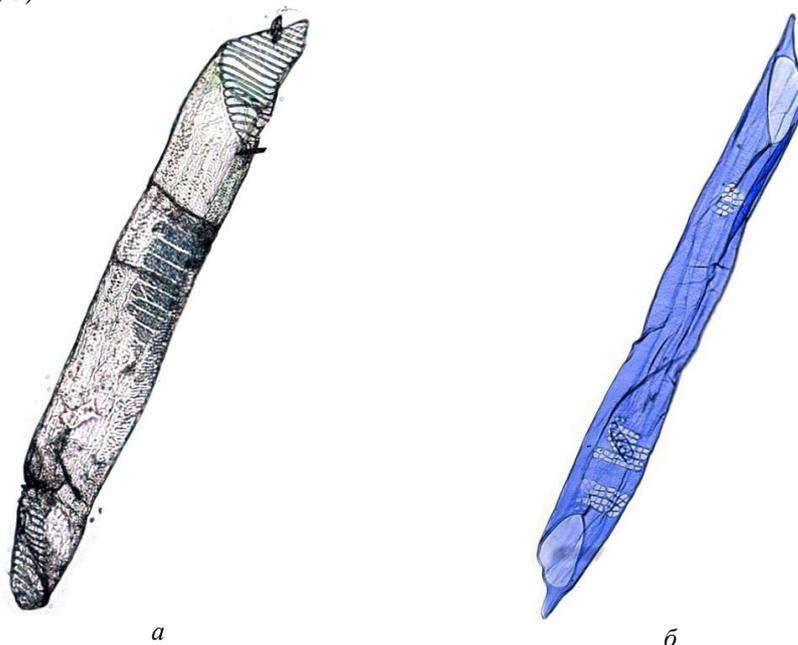


Рис. 1. Сосуды лиственной древесины: *а* – береза; *б* – осина

Таким образом, указанные различия в морфологическом строении сосудов березы и осины являются надежной основой для уверенной идентификации пород в целлюлозных полуфабрикатах и в составе бумаги и картона [8].

Химический состав древесины березы и осины отличается незначительно и зависит от районов произрастания. Основные компоненты клеточной стенки волокна (целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин) составляют в сумме 90...95 % массы, оставшиеся 5...10 % – экстрагируемые вещества. Данные о химическом составе древесины осины и березы, произрастающих в Архангельской области [6] (табл. 1), свидетельствуют, что в древесине березы по сравнению с осиной содержится меньше целлюлозы, но больше лигнина, пентозанов и экстрактивных веществ.

Подробный химический состав лиственной древесины опубликован в работах В.М. Никитина [7] и В.И. Шаркова [10]. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что по сравнению с осиной древесина березы имеет повышенное содержание ксилана и пониженное целлюлозы [1, 7, 10].

Таблица 1

Химический состав древесины осины и березы

Порода	Массовая доля, % от абс. сухой древесины				
	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Смолы и жиры	Экстрагируемые вещества
Береза	46,8	24,7	23,7	4,6	6,2
Осина	49,8	22,6	19,5	4,2	5,7

В целом, отмеченные различия в химическом составе не позволяют достоверно идентифицировать волокна березы и осины, а следовательно, судить по данному признаку об их соотношении в составе целлюлозного полуфабриката.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента из образцов древесины осины и березы получали технологическую щепу в производственных условиях древесно-подготовительного цеха ОАО «Архангельский ЦБК» на рубительной машине ННҚ.

Варки полуцеллюлозы проводили в установке с вращающимися автоклавами. Параметры режима: гидромодуль варки 1 : 3; начальная температура варки – 120 °С, продолжительность варки – 58 мин, стоянка на 170 °С – в течение 30 мин; расход варочных растворов (зеленого щелока и натронно-содового раствора в соотношении NaOH : Na₂CO₃ = 3:1) – 8 % [2, 4]. Готовую массу в целях разделения полупроваренной щепы на волокна подвергали обработке в лабораторной мельнице ЦРА в течение 15 мин.

Варку сульфатной целлюлозы проводили на глицериновой бане. Параметры режима: гидромодуль варки 3,8, расход активной щелочи 20 % в ед. Na₂O; начальная температура варки – 75 °С, стоянка на 158 °С – в течение 120 мин. Отбелка по схеме Д₀–ЩГ–Д₁–Щ–Д₂–К.

У всех полуфабрикатов из отдельных пород древесины определяли выход и число Каппа [3].

Из образцов сульфатной небеленой целлюлозы, полученных из 100 % древесины осины и березы, соответственно моделировали смеси указанных полуфабрикатов в соответствии с весовыми расчетами в процентном соотношении береза / осина с шагом в 10 %. Компьютерное изображение для последующей визуализации и идентификации сосудов березы и осины в смеси получали с помощью исследовательского микроскопа серии Axio Imager.M2m с модульной системой обработки и анализа изображений. На основе особенностей строения исследуемых волокон использовали изображения для апробации метода компьютерной визуализации [8].

Лабораторные образцы смесей полуфабрикатов получали из волокон березы и осины при следующих весовых соотношениях: 0/100; 20/80; 40/60; 60/40; 80/20; 100/0. Каждая проба подвергалась размолу в мельнице ЦРА до

степени помола 20 °ШП, затем из них изготавливали лабораторные отливки. Масса отливок из полуцеллюлозы 125 г/м², из белой сульфатной 60 г/м².

Анализ структурно-размерных характеристик полученных волокон выполняли с помощью автоматического анализатора волокна L&W FiberTester.

Изучены основные физико-механические характеристики лабораторных образцов (разрывная длина, сопротивление раздиранию и собственная прочность волокон в структуре (нулевая разрывная длина)).

Обсуждение результатов

При помощи метода компьютерной визуализации обнаружено, что в пробах с заданным процентным соотношением пород ожидаемое и фактическое количество сосудов древесины осины и березы не совпадает (рис. 2). Количество сосудов осины при равной массе всех волокон всегда больше.

В результате анализа получены данные, показывающие различие между линией аддитивности, т.е. заданным количеством волокон сосудов (линия 2) и измеренным количеством сосудов осины (1).

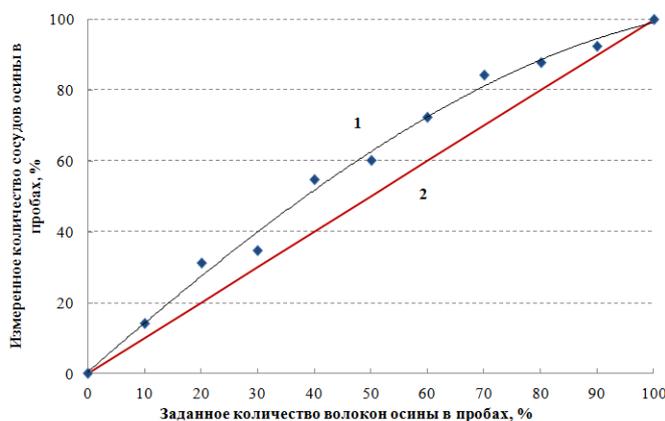


Рис. 2. Соотношение заданного и фактического количества волокон осины в пробах

При исследовании влияния соотношения волокон березы и осины установлено, что при варке с зеленым щелоком выход полуцеллюлозы (ПЦ) в меньшей степени зависит от породы древесины, в то время как при натронно-содовой варке и сульфатной варке выход полуфабрикатов из осины на 6 % выше по отношению к полуфабрикатам из древесины березы. При этом различия в числе Каппа между породами при каждом способе варки сопоставимы (табл. 2).

Структурно-размерные характеристики свидетельствуют о незначительном влиянии породы древесины на геометрические размеры и грубость

Таблица 2

Характеристики полученных полуфабрикатов из древесины березы и осины

Показатель	Значение показателя для полуфабриката					
	ПЦ на зеленом щелоке		Натронно-содовая ПЦ		Сульфатная целлюлоза	
	Береза	Осина	Береза	Осина	Береза	Осина
Число Каппа	130,0	128,0	117,0	116,0	14,2	13,4
Выход, %	72,6	72,0	71,8	77,8	47,6	53,8
Средняя длина волокна, мм	1,11	1,07	1,01	0,99	0,93	0,92
Средняя ширина волокна, мкм	31,6	31,5	30,4	30,3	22,9	23,3
Грубость, мкг	347	333	233	197	100	98

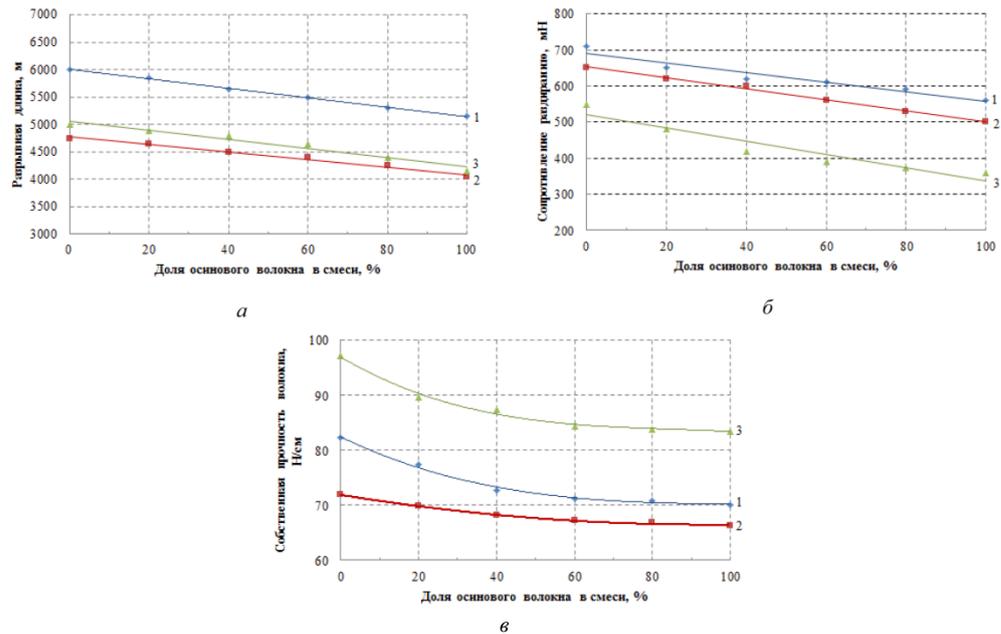


Рис. 3. Влияние соотношения волокон березы и осины в смеси на характеристики прочности образцов полуфабрикатов: а – разрывная длина; б – сопротивление раздиранию; в – собственная прочность волокон в структуре; 1 – полуцеллюлоза, полученная при варке с зеленым щелоком, 2 – натронно-содовая полуцеллюлоза, 3 – сульфатная беленая целлюлоза

волокон полуфабрикатов при одном способе получения. Напротив, сопоставление полуфабрикатов из одной породы, но с использованием разных способов варки демонстрирует существенное влияние вида древесного сырья на структурно-размерные свойства волокон.

Результаты измерения основных физико-механических характеристик лабораторных образцов (разрывной длины, сопротивления раздиранию и собственной прочности волокон в структуре (нулевой разрывной длины)) представлены на рис. 3. Как видно из графиков при увеличении доли осинового составляющей прочностные характеристики образцов уменьшаются.

Таким образом, в лабораторных условиях на различных видах полуфабрикатов, полученных из смесей волокон березы и осины, продемонстрировано влияние соотношения волокон березы и осины на уровень основных физико-механических характеристик. В целом для всех полуфабрикатов наблюдается существенное снижение значений разрывной длины, сопротивления раздиранию и собственной прочности волокна в структуре образцов при увеличении доли волокон осины в составе полуфабриката. Следовательно, подтверждена актуальность оперативного контроля соотношения волокон березы и осины при получении целлюлозных полуфабрикатов из смеси пород и их последующем использовании для производства бумаги и картона.

Выводы

1. Для оптимизации технологии полуфабрикатов, бумаги и картона и их качества следует использовать количественный контроль соотношения волокон осины и березы.

2. Экспериментально установлено, что в образцах с заданным породным составом ожидаемое и фактическое количество сосудов древесины осины и березы не совпадает. При определении породного состава полуфабрикатов следует вводить поправочные коэффициенты.

3. Подтверждена зависимость основных характеристик прочности полуфабрикатов для массовых видов бумаги и картона от соотношения древесины осины и березы в исходном сырье. Показана динамика ухудшения прочностных свойств лабораторных образцов при увеличении в их композиции доли осинового волокна.

4. Установленные закономерности влияния соотношения волокон березы и осины в смеси на прочность целлюлозно-бумажных материалов подтверждают актуальность и практическую востребованность разрабатываемого метода экспресс-определения соотношения указанных листовых волокон в технологических потоках получения полуфабрикатов и при выработке бумаги и картона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А. И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К. Производство волокнистых полуфабрикатов из листовых пород древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

2. Галеева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 320 с.
3. ГОСТ 10070–74. Целлюлоза и полуцеллюлоза. Метод определения степени делигнификации. Введен 01.01.1975 .
4. Демидов М.Л., Миловидова Л.А., Гурьев А.В. Разработка и оптимизация режимов варки полуцеллюлозы из осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 2. С. 44 – 46.
5. Козубова Г.М., Зотова-Спановская Н.П. Диагностические признаки древесины и целлюлозных волокон, применяемых в целлюлозно-бумажной промышленности. Петрозаводск: Кар. филиал АН СССР, 1976. 152 с.
6. Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Фадеев Б.А., Грудинин В.П., Серебряков В.Н., Сумарокова Л.К. Влияние породного состава лиственной щепы на свойства целлюлозы//Технология волокнистых полуфабрикатов: сб. тр. / ЦНИИБ. М.: ВНИПИЭИ-леспром, 1988. С. 96–100.
7. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 386 с.
8. Окулова Е.О., Гурьев А.В. Компьютерная визуализация и идентификация волокон сосудов лиственной целлюлозы // Химия и технология растительных веществ: Материалы VIII Всерос. науч. конф. Калининград, 2013. С. 170.
9. Химия древесины / Пер. с финского Р.В. Заводова под ред. М.А. Иванова. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 400 с.
10. Шарков В.И., Куйбина Н.И. Химия гемицеллюлоз. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 440 с.
11. Karlsson H. Fiber Guide – Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. AB Lorentzen @Wette, ISTA, Sweden, 2006. 120 p.

Поступила 30.04.15

UDC 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.121

Determination of Species Composition of Hardwood Pulp and Semi-Chemical Pulp

E.O. Okulova, Postgraduate Student

A.V. Gur'ev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: e.okulova@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru

Currently, hardwood is used for production of mass fibrous semi-finished products for paper and cardboard. The wood of birch and aspen in different ratios is mainly used in Russia. The basic structural elements of deciduous wood in the semi-finished products are the fibers of a libriform of vessels. Anatomically the fibers of a libriform are very difficult to be distinguished, but the fibers of vessels have the characteristic diagnostic features – the structure of a perforation plate. In aspen wood it is simple, in birch wood it has a ladder structure with many partitions. On the basis of the specified features the authors developed a method of computer visualization and the program algorithm to detect an aspen and birch fiber vessels. This program is intended for the statistical analysis of the species composition of wood fi-

bers according to micrographs. The program was tested on the samples of sulfate unbleached pulp produced from 100 % wood of aspen and birch. Mixtures were prepared by weighing with a predetermined ratio of fibers (10 % for a step). As a result of the researches the discrepancy of the expected and actual quantity of vessels of aspen and birch is established. To evaluate the effect of the ratio of hardwood species on the properties of semi-finished products in a laboratory three ways of semi-finished products were simulated, which are mainly used in the processing of wood of aspen and birch: cooking with green liquor and sodium-soda cooking and kraft pulping. Laboratory samples were obtained from these semi-finished products by mixing them by the gravimetric method (20 % for a step) in the range from 0 to 100 % of one of the species. Grinding was carried out in the Yokro's mill up to 20 °SR. The analysis of the main indicators of physical and mechanical properties (breaking length, tear resistance, strength of fibre) of laboratory castings of semi-chemical pulp (125 g/m²), and bleached sulphate pulp (60 g/m²) is conducted. The difference between the calculated and the actual ratio of the number of vessels in mixtures with a given percentage is found. The dependence of the ratio of the composite structure on the physical and mechanical properties is studied. The dynamics of deterioration in the strength properties of the laboratory samples with the increasing share of aspen fiber in their composition is demonstrated.

Keywords: hardwood vessel, computer visualization, breaking length, tear resistance, strength of fibre.

REFERENCES

1. Bobrov A. I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malyshkina V.K. *Proizvodstvo voloknistykh polufabrikatov iz listvennoy drevesiny* [Production of Hardwood Fibrous Semi-Finished]. Moscow, 1984. 248 p.
2. Galeeva N.A. *Proizvodstvo polutsellyulozy i tsellyulozy vysokogo vykhoda* [Production of High Yield Semi-Chemical Pulp and Pulp]. Moscow, 1970. 320 p.
3. *GOST 10070–74. Tsellyuloza i polutsellyuloza. Metod opredeleniya stepeni delignifikatsii* [State Standard 10070–74. Pulp and Semi-Chemical Pulp. Method for the Degree of Delignification Determination]. Moscow, 1975.
4. Demidov M.L., Milovidova L.A., Gur'ev A.V. Razrabotka i optimizatsiya rezhimov varki polutsellyulozy iz osiny [Development and Optimization of Semi-Chemical Pulping of Aspen]. *Bumaga. Tsellyuloza. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2011, no. 2, pp. 44–46.
5. Kozubova G.M., Zotova-Spanovskaya N.P. *Diagnostichestkie priznaki drevesiny i tsellyuloznykh volokon, primenyaemykh v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Diagnostic Features of Wood and Cellulose Fibers Used in the Pulp and Paper Industry]. Petrozavodsk, 1976. 152 p.
6. Mutovina M.G., Bondareva T.A., Fadeev B.A., Grudin V.P., Serebryakov V.N., Sumarokova L.K. Vliyanie porodnogo sostava listvennoy shchepy na svoystva tsellyulozy [Influence of the Species Composition of Hardwood Chips on the Properties of Cellulose]. *Tekhnologiya voloknistykh polufabrikatov* [Technology of Fiber Semi-Finished Products], 1988, pp. 96–100.
7. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Wood and Pulp Chemistry]. Moscow, 1978. 386 p.

8. Okulova E.O., Gur'ev A.V. Komp'yuternaya vizualizatsiya i identifikatsiya volokon sosudov listvennoy tsellyulozy [Computer Visualization and Identification of Vessels Fibers of Hardwood Pulp]. *Khimiya i tekhnologiya rastitel'nykh veshchestv: Materialy VIII Vseros. nauch. konf.* [Chemistry and Technology of Plant Substances. Proc. VIII Sci. Conf.]. Kaliningrad, 2012.

9. *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry]. Ed. by M.A. Ivanov. Moscow, 1982. 400 p.

10. Sharkov V.I., Kuybina N.I. *Khimiya gemitsellyuloz* [Hemicellulose Chemistry]. Moscow, 1972 p. 440 p.

11. Karlsson H. *Fiber Guide – Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. 2006. 120 p.

Received on April 30, 2015
