

# ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

---

УДК 676.16:677.494.745.32

**П. А. Чубис, Е. П. Шишаков, С. И. Шпак, В. В. Коваль**  
Белорусский государственный технологический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА МЕШОЧНОЙ БУМАГИ НА ЕЕ СВОЙСТВА

В статье приведены данные об объеме выпуска мешочной бумаги ведущими мировыми компаниями. Основным сырьем для изготовления данной продукции является целлюлоза сульфатная хвойная небеленая, имеющая высокую стоимость. В настоящем исследовании было изучено влияние композиционного состава мешочной бумаги на ее свойства, что позволило определить оптимальные расходы первичного волокнистого полуфабриката (целлюлозы) и вторичного волокнистого полуфабриката (макулатуры) для изготовления данного вида бумажной продукции. В качестве плана эксперимента для оптимизации состава бумажной массы по волокну применяли план Коно 2-го порядка. С учетом ограничений на показатели качества, регламентируемые ГОСТ 2228–81 «Мешочная бумага. Технические условия», анализ полученных экспериментальных данных с помощью надстройки «Поиск решения» Microsoft Excel 2007 дал следующие результаты по сочетанию компонентов мешочной бумаги: содержание целлюлозы ( $X_1$ ) – 43,30%; расход полиакрилонитрильных волокон ( $X_2$ ) – 0,15% от а. с. д.; содержание макулатуры в композиции мешочной бумаги – 56,55%.

В ходе эксперимента было установлено, что с увеличением доли частиц из полиакрилонитрила в составе целлюлозы от 0,05 до 0,20%, прочность мешочной бумаги повысилась на 25–28% (разрывная длина увеличилась от 5700 до 7300 м), при этом белизна бумаги уменьшилась на 9,7%. Это позволило снизить содержание дорогостоящей хвойной целлюлозы в композиции мешочной бумаги на 27% (с учетом выпуска данной продукции 30 тыс. т/год, экономия целлюлозы может достигать 8 тыс. т/год).

**Ключевые слова:** мешочная бумага, композиционный состав, крафт-целлюлоза, макулатура, полиакрилонитрил, прочность, белизна, относительное удлинение, поверхность отклика.

**P. A. Chubis, E. P. Shishakov, S. I. Shpak, V. V. Koval**  
Belarusian State Technological University

## INVESTIGATION OF THE FIBER COMPOSITION EFFECT UPON SACK PAPER PROPERTIES

The article presents data on production volumes of sack paper, which is produced by the world's leading companies. The main raw material for the manufacture of this product is unbleached softwood sulphate pulp having a high cost. In the present study the fiber composition effect upon sack paper properties was investigated, that makes it possible to determine the optimal consumptions of unbleached kraft primary fibers (kraft pulp) and secondary fibers (waste paper) for the manufacture of such paper product. Kono second-order plan was used as the plan of the experiment to optimize the pulp fiber composition. Considering the restrictions on the quality parameters, regulated in GOST 2228–81 “Sack paper. Specifications”, the analysis of the obtained experimental data using the add-in “Solver” in Microsoft Excel 2007 gave the following results on the combination of sack paper components: kraft pulp content ( $X_1$ ) – 43.30%; consumption of polyacrylonitrile fibers ( $X_2$ ) – 0.15% of a. d. s.; wastepaper content in the sack paper composition – 56.55%.

During the experiment, it was found that an increase of polyacrylonitrile particles quantity from 0.05 to 0.20% in the kraft pulp structure leads to the increase of sack paper tensile strength by 25–28% (breaking length increased from 5,700 to 7,300 m) but paper whiteness at the same time decreased by 9.7%. This made possible to reduce the content of expensive kraft pulp in the composition of sack paper by 27% (taking into account the 30,000 t/year production of sack paper, saving kraft pulp can reach 8,000 t/year).

**Key words:** sack paper, fiber composition, kraft pulp, waste paper, polyacrylonitrile, tensile strength, whiteness, elongation, response surface.

**Введение.** В настоящее время ведущими мировыми производителями бумаги (Mondi Group, ЗАО «Инвестлеспром», BillerudKorsnäs AB и Smurfit Карра Group) выпускается свыше 2 млн. тонн в год мешочной бумаги. При этом около 87% из приведенного объема занимает продукция, полученная из дорогостоящей небеленой сульфатной хвойной целлюлозы [1]. В Республике Беларусь мешочная бумага выпускается в соответствии с ГОСТ 2228–81 «Бумага мешочная. Технические условия» (переиздан в 2004 г.), согласно которому совместно с небеленой сульфатной хвойной целлюлозой «при условии соответствия показателей бумаги требованиям настоящего стандарта допускается применение целлюлозы из лиственной древесины не более 10%» [2]. Многие отечественные предприятия для экономии первичного волокнистого полуфабриката (целлюлозы) производят бумагу в соответствии с техническими условиями и доводят долю вторичного волокнистого полуфабриката (макулатуры) в композиции мешочной бумаги до 30%. Однако и эта композиция на наш взгляд не соответствует оптимальной, так как существуют резервы по экономии первичного волокнистого сырья.

**Основная часть.** Согласно принятой терминологии, мешочная бумага – это бумага, предназначенная для изготовления мешков, в том числе влагопрочных, битумированных и с покровным слоем. Обычно бумага вырабатывается массой одного метра квадратного от 70 до 100 г. Бумага должна иметь высокие значения показателей сопротивления раздиранию, удлинению при разрыве, сопротивления излому и продавливанию, а также иметь высокие гидрофобные свойства [3, 4]. Согласно ГОСТ 2228–81 вырабатывается четыре разновидности мешочной бумаги: непропитанная (марки М-70А, М-79Б, М-78А, М-78Б, М-78В), влагопрочная (марки В-70, В-78), битумированная (марки Б-70, Б-78) и ламинированная полиэтиленом (марка П) [2].

Мешочная бумага как массовый вид бумажной продукции вырабатывается на технологических линиях, оснащенных агрегатами высокой производительности. Технология производства мешочной бумаги совершенствуется в соответствии с требованиями потребительского рынка. В основе новых технических решений лежат теоретические исследования, направленные на достижение высокой прочности мешков в сочетании с воздухопроницаемостью и дополнительными функциональными свойствами: способностью к воспроизведению печати, антиадгезионной способностью, водостойкостью, влагопрочностью, паронепроницаемостью и др.

В мировой практике наиболее распространенным показателем прочности мешочной бу-

маги является индекс ТЕА (от англ. *tensile energy absorblion*). Индекс ТЕА выражается количеством энергии на единицу площади поверхности образца, которую поглощает бумага в процессе ее растяжения до наступления разрыва. Достоверность этого показателя подтверждена результатами корреляционного анализа взаимосвязи между индексом ТЕА бумаги и прочностью изготовленных из нее мешков (показатель прочности мешков выражается числом ударов до наступления их разрыва при сбрасывании с определенной высоты) [5, 6].

Важным технологическим фактором для обеспечения оптимального соотношения таких противоположных свойств мешочной бумаги, как воздухопроницаемость и механическая прочность является добавка вспомогательных химических компонентов, например, катионных крахмалов и водорастворимых полимеров. Известно, что увеличение воздухопроницаемости достигается преимущественно за счет снижения степени помола волокнистой суспензии, однако это неизбежно приводит к снижению механической прочности бумаги. Катионные крахмалы в комплексе с другими специальными добавками, регулирующими микрофлокуляцию волокон и обезвоживание бумажной массы, компенсируют этот недостаток. Однако введение вспомогательных химических компонентов приводит к увеличению материалоемкости бумажной продукции и не позволяет снижать себестоимость готовой мешочной бумаги. Научный и практический интерес состоял в том, чтобы применить в композиции мешочной бумаги сульфатную хвойную целлюлозу, полученную ранее в результате сульфатной варки древесины совместно с полиакрилонитрильными волокнами и имеющую повышенную прочность, для экономии первичного волокнистого сырья и частичной замены его на макулатуру.

**Целью работы** являлось исследование влияния композиционного состава мешочной бумаги на ее свойства для определения возможности сокращения расхода сульфатной хвойной небеленой целлюлозы при изготовлении данной бумажной продукции. Задачи исследования были следующие: изготовить в лабораторных условиях образцы мешочной бумаги и исследовать их свойства; определить оптимальный композиционный состав мешочной бумаги, содержащей крафт-целлюлозу и частицы подвергнутого щелочному гидролизу полиакрилотрила (ПАН). В качестве объектов исследования были выбраны образцы мешочной бумаги массой  $(78 \pm 2)$  г/м<sup>2</sup>, полученные из крафт-целлюлозы повышенной прочности и макулатуры марки МС-6Б.

В исследовании использовали стандартные методики, применяемые в отрасли [7]. Условия

получения образцов бумаги соответствовали ГОСТ 2228–81 «Мешочная бумага. Технические условия». Степень помола бумажной массы составляла 60°ШР. Для размола волокнистых материалов применяли лабораторный массный ролл с регулируемым усилием прижима размалывающего барабана к планкам. Образцы бумаги подвергались испытаниям на следующие показатели качества: прочностные свойства – на разрывной машине SE 062/064 Lorentzen & Wettre согласно ГОСТ ИСО 1924–1–96; сопротивление раздиранию – на приборе Эльмендорфа согласно ГОСТ 11208–82; белизна – на фотометре белизны и цветности Колир согласно ГОСТ 30437–96; сопротивление излому – на аппарате И-1-2 (фальцере Шоппера) согласно ГОСТ ИСО 5626–97 [8].

На первом этапе исследования в лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины были проведены предварительные опыты по составлению композиции по волокну бумаги мешочной. Целлюлоза с повышенной прочностью, используемая в настоящем эксперименте, была получена нами ранее в процессе сульфатной варки хвойной щепы в присутствии полиакрилонитрильных волокон. При этом было установлено, что с увеличением расхода ПАН-волокон от 0,05 до 0,20% от абсолютно сухой древесины (а. с. д.) прочность целлюлозы повышается на 15–18% (разрывная длина повысилась от 8480 до 9990 м, разрушающее усилие в сухом состоянии – от 93,8 до 109,5 Н), а белизна волокнистого полуфабриката снижается на 10%, что может быть связано с образованием хромофорных соединений остаточного лигнина и аммиака, выделяемого в результате гидролиза полиакрилонитрила [9].

В табл. 1 приведены данные по влиянию композиционного состава бумажной массы по волокну на свойства мешочной бумаги.

Как известно, макулатура снижает прочностные и специальные свойства листовых материалов, однако в ходе исследования наблюдалось то, что отрицательное влияние на прочно-

стные свойства макулатуры при увеличении ее доли в структуре бумаги может быть устранено введением в композицию частиц ПАН даже в небольшом количестве. Получено, что доля макулатуры в композиции мешочной бумаги может быть увеличена до 60% уже при 0,15%-ном расходе ПАН, при этом основные свойства сохраняются в пределах норм стандарта. Относительное удлинение бумаги при растяжении при таком соотношении компонентов получилось менее 3,9% из-за того, что образцы бумаги не подвергались микрокрепированию – процессу придания мешочной бумаге специальных упругопластических свойств.

На втором этапе исследования проводили уточнение композиционного состава мешочной бумаги и определяли оптимальное соотношение компонентов бумажной массы в соответствии с *D*-оптимальным планом Коно 2-го порядка (табл. 2). В данном случае за  $X_1$  принимали содержание целлюлозы в композиции мешочной бумаги (%), а за  $X_2$  – расход полиакрилонитрильных волокон (% от а. с. д.) [10].

С учетом ограничений на показатели качества, регламентируемые в ГОСТ 2228–81 «Мешочная бумага. Технические условия», анализ полученных экспериментальных данных с помощью надстройки «Поиск решения» Microsoft Excel 2007 дал следующие результаты по оптимальному сочетанию компонентов мешочной бумаги:

- содержание целлюлозы ( $X_1$ ) – 43,30%;
- расход полиакрилонитрильных волокон ( $X_2$ ) – 0,15% от а. с. д.;
- соответственно содержание макулатуры в мешочной бумаге составило 56,55%. Что подтверждает правильность выводов, сделанных после предварительных испытаний образцов мешочной бумаги. Таким образом, может быть достигнута 27%-ная экономия первичного волокнистого полуфабриката (крафт-целлюлозы). Из рис. 1, отображающего соотношение компонентов бумажной массы, видно как изменяется доля крафт-целлюлозы (правый сектор) до введения ПАН и оптимизации состава (а) и после (б).

Таблица 1

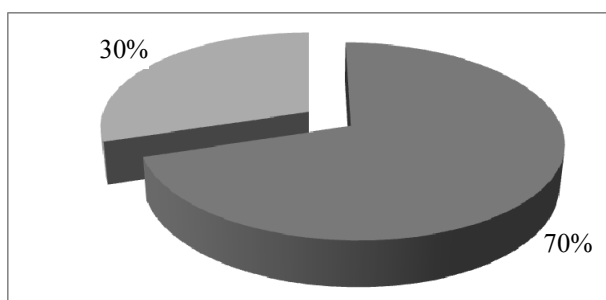
Показатели качества мешочной бумаги в зависимости от композиционного состава

Расход ПАН, % от а. с. д.	Содержание крафт-целлюлозы, %	Содержание макулатуры марки МС-6Б, %	Разрывная длина, м	Сопротивление раздиранию, мН	Разрушающее усилие в сухом состоянии, Н	Относительное удлинение, %
0	70	30	5550	1150	62,6	1,9
0,05	60	40	5900	960	64,5	1,7
0,10	50	50	6450	840	72,2	2,4
<b>0,15</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>6050</b>	<b>790</b>	<b>68,4</b>	<b>2,0</b>
0,20	30	70	5200	720	56,8	1,7
Показатели качества для мешочной бумаги марки М-78А в соответствии с ГОСТ 2228–81			Не менее 4300	Не менее 770	Не менее 45,0	Не менее 3,9

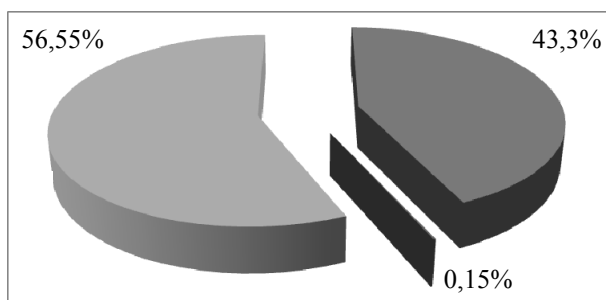
Таблица 2

План Коно 2-го порядка

Номер опыта	$X_1$ , %	$X_2$ , % от а. с. д.
1	70	0,2
2	30	0,2
3	30	0
4	70	0
5	70	0,1
6	50	0,2
7	30	0,1
8	50	0
9	50	0,1



а



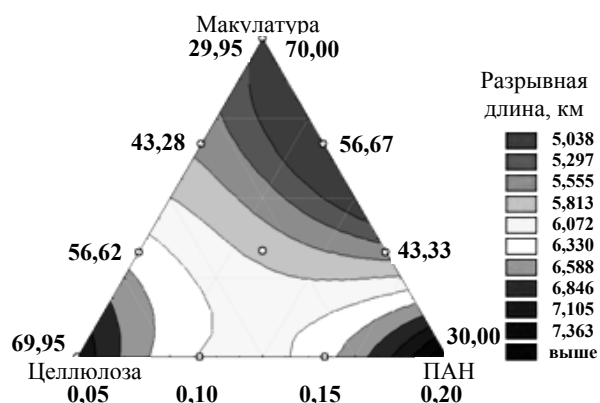
б

Рис. 1. Соотношение компонентов в структуре мешочной бумаги по существующему способу производства (а) и по предлагаемому способу (б)

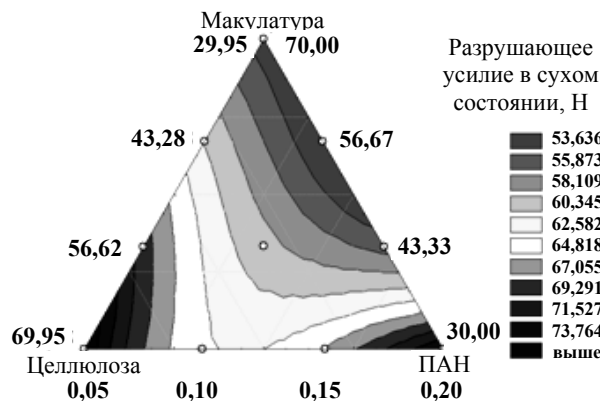
Предлагаемый способ изготовления бумаги позволяет экономить по предварительным расчетам около 100 дол. США на одну тонну мешочной бумаги. Однако приведенная цифра может быть снижена, так как повышенное количество макулатуры в композиции бумаги потребует, возможно, дополнительной покупки и установки в технологический поток бумажной фабрики специального очистного оборудования (вихревых очистителей – для очистки волокнистой суспензии от загрязнений, содержащихся в макулатуре, и флотационной установки – для очистки оборотных и сточных вод).

На третьем этапе были построены трехмерные симплекс-решетчатые планы (планы Шеффе)

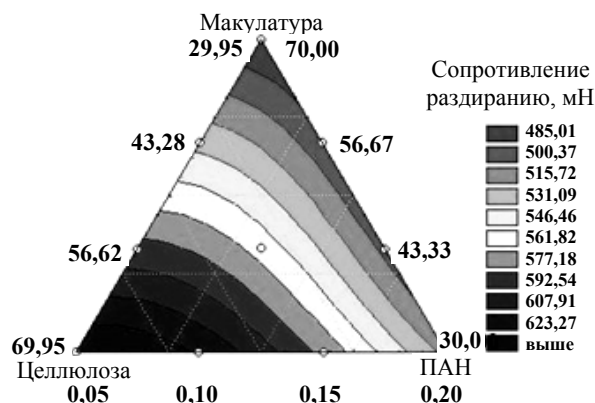
3-го порядка, которые наглядно отображают влияние отрицательного действия макулатуры на прочность мешочной бумаги [11]. При этом применение ПАН в структуре бумаги позволяет предотвратить снижение прочности бумаги (рис. 2, а–в).



а



б



в

Рис. 2. Трехмерные поверхности отклика зависимости разрывной длины (а), разрушающего усилия (б) и сопротивления раздиранью (в) от композиционного состава мешочной бумаги

Анализ поверхностей отклика показал, что увеличение доли макулатуры в композиции мешочной бумаги приводит к снижению разрывной

длины с 7300 до 5000 м и разрушающего усилия в сухом состоянии с 73 до 54 Н. Также установлено, что на сопротивление раздиранию, определяемое при нагружении образцов в поперечном направлении, более существенное влияние оказывает содержание целлюлозы в композиции мешочной бумаги по сравнению с макулатурой. Это может быть связано с тем, что частицы ПАН, удерживаемые на поверхности целлюлозных волокон, способствуют замене водородных связей между целлюлозными микрофибриллами на когезионные связи.

С помощью оптического микроскопа с фотоприставкой и программного обеспечения Optika Vision Pro 4.1 было установлено, что частицы полиакрилонитрила, имеющие сферическую форму, удерживаются на поверхности целлюлозных волокон и способствуют их связыванию за счет сил когезии (рис. 3). Это подтверждается литературными данными [12], которые свидетельствуют о том, что в условиях сушки бумажного листа при температуре около 120°C происходит размягчение акрилонитрила (температура стеклования 85–90°C).

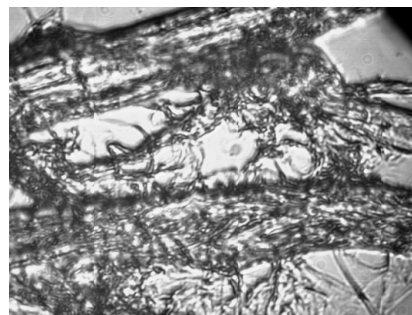


Рис. 3. Микрофотография целлюлозных волокон и частиц ПАН в межволоконном пространстве

**Заключение.** В результате исследований установлено следующее:

– оптимальный композиционный состав мешочной бумаги включает 43,30% крафт-целлюлозы повышенной прочности, содержащей 0,15% от а. с. д. частиц из подвергнутого сульфатной варке полиакрилонитрила и 56,55% макулатуры марки МС-6Б;

– с увеличением расхода ПАН от 0,05 до 0,20% от а. с. д. прочность мешочной бумаги растет на 25–28%, а белизна снижается на 9,7%.

#### Литература

1. Писарев М. Мировые тренды в использовании упаковки. Потребительская и промышленная бумажная упаковка как компонент устойчивого развития российской промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.papfor-forum.com.html> (дата обращения 03.02.2015).
2. Бумага мешочная. Технические условия: ГОСТ 2228–81. Введ. 27.02.81. М.: Издательство стандартов, 2004. 8 с.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. С. Осипов (гл. ред.) [и др.]. СПб.: Политехника, 2002–2006. Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 2: Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит / М. А. Остреров [и др.]. 2006. 499 с.
4. Paper and Paperboard Packaging Technology / ed. by Mark J. Kirwan. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2005. 429 p.
5. Mechanics of paper products / ed. by Kaarlo Niskanen [et al.]. 1st ed. Berlin; Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2012. 258 p.
6. Хэнлон Дж. Ф., Келси Р. Дж., Форсинио Х. Е. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение / пер. с англ. под общ. науч. ред. Жавнера В. Л. СПб.: Профессия, 2006. 632 с.
7. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству / С. Ф. Примаков [и др.]. М.: Лесная промышленность, 1980. 168 с.
8. Handbook of Paper and Board / ed. by H. Holik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. 505 p.
9. Чубис П. А., Шишаков Е. П., Коваль В. В. Сульфатная варка хвойной древесины в присутствии полиакрилонитрильных волокон // Труды БГТУ. 2014. № 4: Химия, технология орган. в-в и биотехнология. С. 113–119.
10. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск: Красноярский гос. ун-т, 1982. 192 с.
11. Планирование экспериментов STATISTICA [Электронный ресурс]: сайт. Минск, 2014. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.html> (дата обращения 03.02.2015).
12. Синтез полимеров на основе акрилонитрила. Технология получения ПАН и углеродных волокон: учеб. пособие для студентов / А. К. Беркович [и др.]; под. ред. проф. В. В. Авдеева [и др.]. М.: Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2010. 63 с.

#### References

1. Pisarev M. [Global trends in the use of packaging. Consumer and industrial paper packaging as a component of sustainable development of Russian industry]. Available at: <http://www.papfor-forum.com.html> (accessed 03.02.2015).

2. GOST 2228–81. Sack paper. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2004. 8 p. (in Russian).
3. Ostrerov M. A., Gur'yanov V. E., Sarana N. V., Semkina L. I., Bondarev A. I., Gul'yants E. P., Aleskerova T. S., Fadeeva L. A., Ryukhin S. N., Krupin V. I., Kudryashov V. N., Akim E. L., Makhotina L. G., Galkina L. A., Avanesova L. I., Vasil'eva E. I., Dubovyy V. K., Gushhin E. A., Kozlova M. A., Osipov P. S., Leonovich A. A. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: v 3 t. T. 2: Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 2: Osnovnyye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit* [Technology of Pulp and Paper Industry: in 3 vol.]. St. Petersburg: Politekhnik Publ., 2002–2006. Vol. 2: Paper and Board Production. P. 2: Main types and properties of paper, board, fibre and plywood. 2006. 499 p.
4. Paper and Paperboard Packaging Technology. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2005. 429 p.
5. Mechanics of paper products. Berlin; Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2012. 258 p.
6. Joseph F. Hanlon, Robert J. Kelsey, Hallie E. Forcinio. *Handbook of Package Engineering. Third edition*. London: CRC Press LCC, 1998. 594 p. (Rus. ed.: Hjenlon Dzh. F., Kelsi R. Dzh., Forsinio X. E. *Upakovka i tara: proektirovaniye, tekhnologii, primeneniye*. St. Petersburg: Professiya Publ., 2006. 632 p.).
7. Primakov S. F., Milovzorov V. P., Kuhnikova M. S., Carenko I. M. *Laboratornyy praktikum po tsellyulozno-bumazhnomu proizvodstvu* [Laboratory workshop on the pulp and paper production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 168 p.
8. Handbook of Paper and Board. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. 505 p.
9. Chubis P. A., Shishakov E. P., Koval' V. V. Softwood kraft pulping with polyacrylonitrile fibers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2014, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 113–119 (in Russian).
10. Pen R. Z. *Statisticheskiye metody modelirovaniya i optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov* [Statistical methods for modeling and optimization of technological processes]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy gosudarstvennyy institut. Publ., 1982. 192 p.
11. *Planirovaniye eksperimentov STATISTICA* [Design of Experiments STATISTICA]. Available at: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.html> (accessed 03.02.2015).
12. Berkovich A. K., Sergeev V. G., Medvedev V. A., Malaho A. P. *Sintez polimerov na osnove akrilonitrila. Tekhnologiya polucheniya PAN i uglevodnykh volokon: ucheb. posobie* [Synthesis of polymers based on acrylonitrile. The technology of obtaining PAN and carbon fiber: manual for students]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet imeni M. V. Lomonosova Publ., 2010. 63 p.

### Информация об авторах

**Чубис Павел Анатольевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pavelchubis@mail.ru

**Шишаков Евгений Павлович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: eshichakov@mail.ru

**Шпак Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: spak\_s@belstu.by

**Коваль Виктор Витальевич** – магистрант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: 1992wb@gmail.com

### Information about the authors

**Chubis Pavel Anatol'evich** – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavelchubis@mail.ru

**Shishakov Evgeniy Pavlovich** – Ph. D. Engineering, leading researcher, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eshichakov@mail.ru

**Shpak Sergey Ivanovich** – Ph. D. Engineering, associate professor, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Spak\_s@belstu.by

**Koval' Victor Vital'evich** – master's degree student, Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 1992wb@gmail.com

Поступила 19.02.2015