

DOI: 10.15593/2224-9400/2016.4.04

УДК 661.728

О.А. Носкова, О.А. Зырянова, С.Д. ВельможинПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Целлюлоза в форме порошка относится к новому типу промышленных препаратов целлюлозы. Порошковая целлюлоза может быть получена химическим, механическим способами или их сочетанием.

Ранее на кафедре технологии целлюлозно-бумажного производства ПНИПУ были разработаны оптимальные режимы получения порошковой целлюлозы из хлопковой и сульфитной вискозной целлюлозы с применением в качестве деструктурирующих агентов соляной и азотной кислот. Порошковая целлюлоза предназначалась для использования в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности.

Однако в настоящее время возникают трудности в приобретении исходного качественного волокнистого сырья для получения порошковой целлюлозы. Это связано с высокой стоимостью качественной хлопковой целлюлозы, а также остановкой производства вискозной целлюлозы на российских целлюлозно-бумажных предприятиях.

Данная работа была проведена с целью возможности расширения сырьевой базы для получения порошковой целлюлозы.

Для исследований была использована небеленая сульфитная целлюлоза Сясьского ЦБК. Показано, что из небеленой сульфитной целлюлозы можно получить беленую порошковую целлюлозу с использованием следующих стадий: щелочной обработки исходного волокнистого сырья, гидролиза азотной кислотой обработанной щелочью целлюлозы с образованием порошка, отбелики раствором пероксида водорода полученной порошковой целлюлозы. Разработаны условия каждой стадии. Разработка оптимальных условий основной стадии получения порошковой целлюлозы (гидролиза) осуществлялась с помощью математического планирования эксперимента (по трехфакторному плану Бокса) и статистической обработки результатов эксперимента с использованием программы Statgraphics Plus V.5.01.

Порошковую целлюлозу предлагается использовать в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности.

Ключевые слова: сульфитная целлюлоза, гидролиз, деструктурирующий агент, щелочная обработка, отбелка, пероксид водорода, порошковая целлюлоза.

O.A. Noskova, O.A. Zyryanova, S.D. Velmozhin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

APPLICATION OF THE WOOD PULP FOR RECEIVING BLEACHED POWDER CELLULOSE

Cellulose in the form of powder falls into to new type of the production medicines of cellulose. Powder cellulose can be received chemical, mechanical in the ways or their combination.

Earlier at department of technology of pulp-and-paper production of PNRPU the optimum modes of receiving powder cellulose from cotton and sulfite viscose cellulose with application in quality the destruktiruyushchikh of agents of the hydrochloric and nitric acids were developed. Powder cellulose intended for use in the food, pharmaceutical and medical industry.

However now there are difficulties in acquisition of feed qualitative fibrous stock for receiving powder cellulose. It is bound to the high cost of a qualitative cotton cellulose, and also a stop of production of viscose cellulose at the Russian pulp-and-paper enterprises.

This work was carried out for the purpose of a possibility of expansion of a source of raw materials for receiving powder cellulose.

For researches unbleached sulfite cellulose of Syassky pulp and paper mill was used. It is shown that from unbleached sulfite cellulose it is possible to receive bleached powder cellulose with use of the following stages: alkali treatment of feed fibrous stock, hydrolysis by hydrogen nitrate the processed cellulose alkali with formation of powder, whitening by solution of hydrogen peroxide of the received powder cellulose. Conditions of each stage are developed. Development of optimum conditions of the main stage of receiving powder cellulose (hydrolysis) was carried out by means of mathematical scheduling of an experiment (on three to the faktrony plan of Isolation ward) and statistical processing of results of an experiment with use of the Statgraphics Plus V.5.01 program.

Powder cellulose is offered to be used in the food, pharmaceutical and medical industry.

Keywords: sulphite pulp, hydrolysis, degrades agent, alkali treatment, bleaching, hydrogen peroxide, powdered cellulose

Волокнистую целлюлозу, выделенную из природного растительного сырья тем или иным способом варки, широко используют в производстве бумаги, картона, древесно-волоконистых плит, искусственных вискозных, ацетатных волокон и др. При деструкции целлюлозы химическим или механическим способом теряется ее волокнистая структура и образуется целлюлозный порошок [1].

Порошковая целлюлоза обладает некоторыми исключительными свойствами, отличающими ее от волокнистой целлюлозы, например, чрезвычайно высокая твердость спрессованного материала, его негорючесть, высокая гелеобразующая способность некоторых видов порошкообразной целлюлозы, повышение или понижение степени кристалличности, значительное, как правило, увеличение удельной поверхности, изменение реакционной способности ее гидроксильных групп, стабильность гликозидной связи. Благодаря своим уникальным свойствам, целлюлоза в форме порошка находит применение в медицинской и фармацевтической промышленности как вспомогательное средство при изготовлении таблеток; в пищевой промышленности при изготовлении печеной продукции, сладостей, рыбных консервов, майонезов, мясных и молочных продуктов; в косметике в качестве основы пудр, кремов; в технике для фильтрации, как наполнитель в производстве материалов высокой прочности и термостабильности; при получении сложных и простых эфиров целлюлозы; в аналитической химии для колоночной и тонкослойной хроматографии; как исходный материал для получения нанокристаллической целлюлозы; в композиции упаковочных видов бумаги и картона для увеличения их прочности [2–5].

В зависимости от назначения целлюлоза в форме порошка может быть получена различными способами: механическим (сухой размол, размол в вибрационной мельнице), термомеханическим (перед размолем сырье подвергают термообработке), химическим (гидролиз щелочами, кислотами, кислыми солями, щелочно-окислительная обработка) и высаждением целлюлозы из ее растворов. В результате образуются порошки, различающиеся морфологической структурой, степенью кристалличности, степенью полимеризации, гранулометрическим составом и другими характеристиками, что определяет в конечном счете их макроскопические свойства и область применения [6].

Наиболее распространенным способом получения порошковой целлюлозы является кислотный гетерогенный гидролиз, в результате которого при действии минеральных кислот на волокнистую структуру

целлюлозы происходит разрушение гликозидных связей в аморфных участках микрофибрилл целлюлозы. При этом образуется та же самая химически неизменная целлюлоза, но со значительно меньшей степенью полимеризации и молекулярной массой и более высокой степенью кристалличности [7].

На кафедре ТЦБП ПНИПУ разработаны технология и оптимальные условия получения порошковой целлюлозы методом кислотного гетерогенного гидролиза из высококачественного традиционного сырья – хлопковой и древесной целлюлозы, предназначенной для химической переработки (сульфитной вискозной целлюлозы). Эти виды волокнистого сырья характеризуются высокой степенью химической чистоты и отсутствием посторонних примесей, что, следовательно, сказывается на качестве порошковой целлюлозы. В качестве деструктирующих агентов использованы растворы соляной и азотной кислот [8, 9]. Порошковая целлюлоза предназначалась для использования в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности. Однако в настоящее время возникают трудности в приобретении исходного волокнистого сырья для получения порошковой целлюлозы. Это связано с высокой стоимостью качественной хлопковой целлюлозы, а также остановкой производства вискозной целлюлозы на российских целлюлозно-бумажных предприятиях.

Данная работа проведена с целью возможности расширения сырьевой базы для получения порошковой целлюлозы. В качестве исходного сырья использована небеленая сульфитная целлюлоза Сясьского ЦБК со следующими характеристиками: массовой долей альфа-целлюлозы – 81,5 %, лигнина – 5,19 %, степенью полимеризации – 1060, белизной – 60,4 %.

На основании ранее проведенных исследований в работе деструктирующими агентами выбраны растворы соляной кислоты с концентрацией 4,5 % и азотной кислоты с концентрацией 6,5 %. Приведенные концентрации растворов кислот были определены как оптимальные и использованы при получении порошковой целлюлозы из сульфитной вискозной целлюлозы [8, 9].

На первом этапе работы были проведены предварительные исследования для изучения влияния вида кислоты на результаты процесса гидролиза, который проводили в течение 1,5–3,0 ч при температуре 95–98 °С. Результаты процесса гидролиза исходной небеленой волокнистой целлюлозы оценивали по следующим показателям: выходу по-

рошковой целлюлозы от исходной целлюлозы, белизне, степени полимеризации (СП), насыпной плотности, фракционному составу и массовой доле лигнина в порошковой целлюлозе (табл. 1). Эти показатели характеризуют пригодность целлюлозы для вышеуказанных целей.

Таблица 1

Результаты предварительных исследований гидролиза небеленой сульфитной целлюлозы азотной и соляной кислотами

Условия гидролиза		Показатели порошковой целлюлозы						
вид кислоты	продолжительность гидролиза, ч	выход, % от исходной	белизна, %	массовая доля лигнина, %	насыпная плотность, кг/м ³	СП	фракционный состав, %	
							крупная фракция	отсортированная фракция
HCl	1,5	89,2	48,5	4,34	120	360	37,2	62,8
	2,0	87,5	46,8	4,12	150	340	36,5	63,5
	3,0	84,0	45,1	3,89	160	330	33,7	66,3
HNO ₃	1,5	90,9	56,1	0,74	110	400	42,7	57,3
	2,0	88,2	52,2	0,68	130	380	41,5	58,5
	3,0	85,9	67,7	0,60	170	310	39,4	60,6
Нормы ТУ 9199-005-12043303–2003 «Целлюлоза микрокристаллическая порошковая для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности»			Белый цвет			Не более 300		

Примечание. Фракционный состав был определен путем сортирования порошковой целлюлозы через шелковое сито № 32 с получением двух фракций: 1) крупной фракции, которая представляет остаток на сите (размер частиц более 315 мкм); 2) отсортированной фракции, прошедшей через отверстия сита (размер частиц менее 315 мкм).

Сравнивая показатели качества порошковой целлюлозы, можно отметить, что независимо от вида кислоты целлюлозные порошки характеризуются невысокой насыпной плотностью, достаточно высокими значениями степени полимеризации (более 300), значительной долей крупной фракции. При гидролизе исходной небеленой целлюлозы

азотной кислотой получен целлюлозный порошок более светлого цвета, чем при гидролизе соляной кислотой, что связано со значительным снижением массовой доли лигнина (с 5,19 до 0,74–0,60 %) в процессе гидролитической деструкции азотной кислотой. Поэтому на дальнейших этапах работы по получению порошковой целлюлозы из небеленой сульфитной целлюлозы мы использовали водные растворы азотной кислоты.

Для улучшения качественных характеристик (снижения СП, насыпной плотности, доли крупной фракции и увеличения белизны) нами была предложена следующая схема получения порошковой целлюлозы: щелочная обработка небеленой целлюлозы, гидролиз обработанной целлюлозы азотной кислотой с образованием порошка, отбелка полученной порошковой целлюлозы раствором пероксида водорода.

Процесс обработки целлюлозы щелочью при повышенной температуре называется облагораживанием целлюлозы и снижает устойчивость целлюлозы к гидролизу. Поэтому перед гидролизом целлюлозы было решено провести щелочную обработку небеленой волокнистой целлюлозы при условиях, применяемых традиционно при горячем облагораживании: температуре 90 °С в течение 120 мин, расходе щелочи 10 % от массы абсолютно сухой целлюлозы. Гидролиз целлюлозы после щелочной обработки проводили азотной кислотой концентрацией 6,5 % [9] при температуре 95–98 °С в течение 3 ч и гидромодуле 15:1. Результаты исследований влияния щелочной обработки на результаты процесса гидролиза целлюлозы отражены в табл. 2. Для сравнения в таблице приведены показатели качества порошковой целлюлозы, полученной без предварительной щелочной обработки.

Предварительная щелочная обработка приводит к изменению показателей целлюлозы после гидролиза: в большей степени в процессе гидролиза снижаются выход и СП целлюлозы, массовая доля в целлюлозе лигнина и содержание крупной фракции. Это объясняется тем, что при щелочной обработке происходит частичное растворение лигнина, гемицеллюлоз и низкомолекулярных фракций целлюлозы. Кроме того, в щелочной среде происходит набухание целлюлозных волокон, в результате чего увеличивается доступная поверхность волокна для более глубокого проникновения внутрь гидролизующего агента (кислоты) [10].

Несмотря на то, что предварительная обработка щелочью перед гидролизом целлюлозы азотной кислотой несколько улучшила качест-

во порошковой целлюлозы, значения показателей согласно ТУ не достигнуты.

Для порошковой целлюлозы, предназначенной для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности (по техническим условиям), значение СП не должно превышать 300. Однако у порошковой целлюлозы, полученной из небеленой сульфитной целлюлозы, обработанной щелочью, при СП 280–300 еще сохраняется волокнистая структура.

Таблица 2

Влияние предварительной щелочной обработки
на результаты гидролиза целлюлозы

Показатель	Значения показателей для порошковой целлюлозы, полученной гидролизом	
	небеленой целлюлозы	обработанной щелочью целлюлозы
<i>Результаты щелочной обработки целлюлозы</i>		
Расход NaOH, % от массы абсолютно сухой целлюлозы	–	10
Выход целлюлозы, %	100	88,5
Белизна, %	60,4	51,0
Массовая доля в целлюлозе, %:		
альфа-целлюлозы	81,5	94,9
лигнина	5,19	3,08
<i>Результаты гидролиза целлюлозы, обработанной щелочью</i>		
Белизна, %	67,7	64,3
Степень полимеризации	310	280
Массовая доля лигнина в целлюлозе, %	0,60	0,20
Насыпная плотность, кг/м ³	170	247
Фракционный состав, %:		
крупная фракция (остаток на сите № 32)	39,4	13,2
отсортированная фракция	60,6	86,8

Для повышения эффекта гидролиза и улучшения качественных характеристик было решено провести исследования по определению оптимальных условий гидролиза волокнистой целлюлозы, предварительно прошедшей стадию щелочной обработки при условиях, указанных выше.

Для разработки оптимальных условий гидролиза облагороженной целлюлозы был поставлен эксперимент по трехфакторному плану Бокса ($m = 3$). При трех независимых переменных данный план обладает хорошими статистическими характеристиками и включает в себя небольшое число точек эксперимента (14). Было изучено влияние на результаты процесса гидролиза целлюлозы трех факторов: температуры гидролиза (интервал варьирования 70–120 °С), его продолжительности (интервал варьирования 60–240 мин) и концентрации азотной кислоты (интервал варьирования 5–12 %). Гидро модуль оставался постоянным (15:1). Выходными параметрами были выбраны выход и СП порошковой целлюлозы, которые достаточно полно характеризуют процесс гидролиза.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили с использованием программы Statgraphics Plus V.5.01 [11]. При этом для каждого выходного параметра получены уравнения регрессии. С учетом значимых коэффициентов математические модели выглядят следующим образом:

для показателя «выход порошковой целлюлозы»:

$$y_1 = 82,3154 - 7,28 \cdot x_1 - 5,23 \cdot x_2 - 5,66 \cdot x_3 - 4,53077 \cdot x_1^2 - 4,2125 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,48077 \cdot x_3^2; \quad (1)$$

для показателя «степень полимеризации порошковой целлюлозы»:

$$y_2 = 332,885 - 217,0 \cdot x_1 - 98,5 \cdot x_2 - 82,0 \cdot x_3 + 101,731 \cdot x_1^2 + 65,0 \cdot x_1 \cdot x_2 + 43,75 \cdot x_1 \cdot x_3 + 27,5 \cdot x_2 \cdot x_3 - 33,2692 \cdot x_3^2. \quad (2)$$

Условия оптимизации: СП ≤ 250 ; выход порошковой целлюлозы $\rightarrow \max$.

Оптимизация с помощью программы STATGRAPHICS дала следующие оптимальные условия гидролиза целлюлозы, облагороженной щелочью: температура 90 °С, продолжительность 170 мин и концентрация азотной кислоты 10 %. По разработанным условиям была полу-

чена порошкообразная целлюлоза со степенью полимеризации 250, при выходе продукта (77,2 %) и белизной 75 %.

Полученный целлюлозный порошок имеет невысокую степень белизны. Объясняется это следующими причинами: в качестве исходного сырья была выбрана небеленая целлюлоза с невысокой степенью белизны (60,4 %); перед гидролизом целлюлоза подвергалась щелочной обработке, в результате которой происходит снижение белизны до 51,0 %.

Одним из требований к порошковой целлюлозе, предназначенной для использования в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности, является белый цвет. Для повышения степени белизны была проведена отбелка порошковой целлюлозы, полученной гидролизом по оптимальному режиму, щелочным раствором пероксида водорода. Данный реагент является экологически безопасным. Условия отбелки были выбраны традиционными, как и для отбелки волокнистой целлюлозы [12]: расход реагентов – H_2O_2 1,0 %, Na_2SiO_3 3 %, NaOH 1 % от массы абсолютно сухой целлюлозы; температура 70 °С; продолжительность 2 ч; концентрация массы 10 %; pH 10–11.

Результаты отбелки порошковой целлюлозы приведены в табл. 3. В таблице для сравнения приведены показатели качества порошковой целлюлозы, полученной по оптимальному режиму гидролиза без отбелки. В образцах порошковой целлюлозы были определены следующие показатели: выход, белизна, степень полимеризации, массовая доля лигнина в порошковой целлюлозе, а также некоторые показатели порошковой целлюлозы, регламентируемые для порошковой целлюлозы, предназначенной для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности.

Результаты исследований, приведенные в табл. 3, показывают, что отбелка порошковой целлюлозы пероксидом водорода приводит к незначительному снижению выхода и некоторому улучшению показателей – увеличению сорбционной способности по йоду, водоудерживающей способности, насыпной плотности и содержания отсортированной (мелкой) фракции.

Таким образом, предложено получать порошковую целлюлозу по схеме, которая состоит из следующих стадий: обработка исходной целлюлозы раствором щелочи (облагораживание целлюлозы); гидролиз облагороженной целлюлозы водным раствором азотной кислоты с получением порошка; отбелка порошковой целлюлозы пероксидом водорода. По основным показателям качества (степени полимеризации,

Таблица 3

Сравнительная характеристика порошковой целлюлозы, полученной по оптимальному режиму и с последующей отбелкой пероксидом водорода

Показатель	Значения для порошковой целлюлозы, полученной по оптимальному режиму		Нормы ТУ 9199-005-12043303–2003
	без отбелки	с последующей отбелкой H_2O_2 с его расходом 1,0 % от массы абс. сухой целлюлозы	
Выход, % от волокнистой целлюлозы	77,2	75,6	
Белизна, %	74,9	82,4	Белый цвет
СП	250	245	Не более 300
Массовая доля лигнина в целлюлозе, %	0,27	0,17	
Сорбционная способность по йоду, мг I_2 /г целлюлозы	29	34	Не менее 10
Водоудерживающая способность, %	58	62	Не менее 30
Насыпная плотность, кг/м ³	206	241	
Фракционный состав, %:			
крупная фракция (остаток на сите № 32)	14,6	11,6	
отсортированная фракция	85,4	88,4	

сорбционной и водоудерживающей способности) порошковая целлюлоза, полученная по предложенной схеме, соответствует нормам технических условий на порошковую целлюлозу для пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности.

Список литературы

1. Петропавловский Г.А., Котельникова Н.Е., Погодина Т.Е. Свойства целлюлозы с деструктурированной формой волокон (порошкообразной целлюлозы) // Химия древесины. – 1983. – № 6. – С. 78–82.

2. Целлюлоза в форме порошка. Получение. Свойства. Применение / сост. Р.И. Сарыбаева, Т.В. Василькова [и др.]. – Фрунзе: Илим, 1986. – 338 с.
3. Bondeson D, Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis // Cellulose. – 2006. – Vol. 13. – P. 171–180.
4. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения (обзор)// Химия растительного сырья. – 2013. – № 3. – С. 33–41.
5. Использование микроволокнистой целлюлозы в композиции упаковочных видов бумаги и картона для гофрокартона на макулатурной основе / Г.Ф. Ширанков, Р.А. Евлахова, А.А. Зуйков, Е.Т. Тюрин, В.П. Ионова, Е.С. Королева, Т.Е. Бурмистрова, С.Н. Никольский, С.А. Константинова // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2015. – № 7. – С. 56–60.
6. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. – СПб.: Политехника, 2012. – Т. III, ч. 3. – 294 с.
7. Целлюлоза и ее производные / под ред. М. Байклза и Л. Сега-ла. – М.: Мир, 1974. – Т. 2.
8. Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Носкова О.А. Получение целлюлозного порошка из хлопковой и древесной целлюлозы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2001. – № 5–6. – С. 113–118.
9. Носкова О.А., Хакимова Ф.Х. Динамика изменения свойств хлопковой и сульфитной вискозной целлюлозы при получении порошковой целлюлозы с применением азотной кислоты // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 9. – С. 50–57.
10. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – СПб.: Лань, 2010. – 624 с.
11. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. – Красноярск: СибГТУ- Кларетианум, 2003. – 246 с.
12. Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Отбелка целлюлозы: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 182 с.

References

1. Petropavlovskij G.A., Kotelnikova N.E., Pogodina T.E. Svoystva tsellyulozy s destruktirovannoj formoj volokon (poroshkoobraznoj tsellyu-

lozy) [Properties of cellulose with a degraded form of fibers (powder cellulose)]. *Khimiya drevesiny*, 1979, no. 6, pp. 78–82.

2. Tsellyuloza v forme poroshka. Poluchenie. Svoystva. Primenenie [Cellulose in the form of powder. Receiving. Properties. Application]. Sostaviteli R.I. Sarybaeva, T.V. Vasilkova [et al.]. Frunze: Ilim, 1986. 338 p.

3. Bondeson D., Mathew A., Oksman K. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose*, 2006, vol. 13, pp. 171–180.

4. Autlov S.A., Bazarnova N.G., Kushnir E.J. Mikrokrystallicheskaya tsellyuloza: struktura, svoystva i oblasti primeneniya (obzor) [Microcrystalline cellulose. Structure, properties and applications (review)]. *Khimiya rastitelnogo syrya*, 2013, no. 3, pp. 33–41.

5. Shirankov G.F., Evlakhova R.A., Zujkov A.A., Tyurin E.T., Ionova V.P., Koroleva E.S., Burmistrova E.S., Nikolskij S.N., Konstantinova S.A. Ispolzovanie mikrovoloknistoj tsellyulozy v kompozitsii upakovochnykh vidov bumagi i kartona dlya gofrokartona na makulturnoj osnove [Applying a microfiber pulp in the composition of packaging types of paper and cardboard for corrugated chipboard]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2015, no. 7, pp. 56–60.

6. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva [Technology of pulp-and-paper production]. Saint Petersburg: Politekhnik, 2012. Vol. III, part 3. 294 p.

7. Tsellyuloza i ee proizvodnye [Cellulose and cellulose derivatives]. Vol. 2. Edited by M. Bikales and L. Segal. Moskow: Mir, 1974. 350 p.

8. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Noskova O.A. Poluchenie cellyuloznogo poroshka iz khlopkovoj i drevesnoj tsellyulozy [Producing powder out of cotton and wood pulp]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, 2001, no. 5–6, pp. 113–118.

9. Noskova O.A., Khakimova F.Kh. Dinamika izmeneniya svoystv khlopkovoj i sulfitnoj viskoznoj tsellyulozy pri poluchenii poroshkovoj tsellyulozy s primeneniem azotnoj kisloty [The dynamics of changes in the properties of cotton and sulfite rayon pulp while producing the powder cellulose with the application of the nitric acid]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2010, no. 9, pp. 56–57.

10. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Saint-Petersburg: Lan, 2010. 624 p.

11. Pen R.Z. Planirovanie eksperimenta v Statgraphics [Scheduling of an experiment in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003. 246 p.

12. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N. Otbelka tsellyulozy [Bleaching of pulp]. Perm, 2010. 182 p.

Получено 19.10.2016

Об авторах

Носкова Ольга Алексеевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: noskova_oa@perm.ru).

Зырянова Ольга Алексеевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: tcbp@pstu.ru).

Вельможин Степан Денисович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: tcbp@pstu.ru).

About the authors

Olga A. Noskova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: noskova_oa@perm.ru).

Olga A. Zyryanova (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: tcbp@pstu.ru).

Stepan D. Velmozhin (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Chemical technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: tcbp@pstu.ru).