



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.164.3.023.1

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.3.147

ЭКОЛОГИЧЕСКИ НАДЕЖНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТБЕЛКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ф.Х. Хакимова, д-р техн. наук, проф.

К.А. Синяев, канд. техн. наук, доц.

Д.Р. Нагимов, канд. техн. наук, доц.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., д. 29, г. Пермь, Пермский край, Россия, 614990; e-mail: tcbp@pstu.ru

Задача работы состояла в оценке целесообразности отбелки бисульфитной целлюлозы с высоким содержанием остаточного лигнина (7,5 %) по Elemental Chlorine Free (ECF)-технологии пероксидом водорода в кислой среде и хлоритом натрия, сульфитной целлюлозы – по Total Chlorine Free (TCF)-технологии пероксидом водорода по разработанным авторами схемам. Отбелки проводили в лабораторных условиях. Условия обработки целлюлозы на отдельных ступенях отбелки оптимизированы с использованием программного пакета статистического анализа Statgraphics V.5.0. Показано, что обе схемы отбелки довольно жестких бисульфитной и сульфитной целлюлозы характеризуются мягким окислительным воздействием на компоненты целлюлозы и дают положительные результаты по выходу, показателям качества целлюлозы, а также обеспечивают высокую степень обессмоливания целлюлозы по общей и «вредной» смоле, что способствует устранению «смоляных затруднений». Основные показатели промывных вод указывают, что по уровню загрязненности сточных вод предлагаемые технологии отвечают современным требованиям. Предлагаемая схема отбелки по ECF-технологии с заменой кислородно-щелочной обработки пероксидной делигнификацией и диоксида хлора растворимым в воде взрывобезопасным хлоритом натрия разработана для отбелки сульфатной и бисульфитной жесткой целлюлозы и может быть с успехом внедрена на любом действующем предприятии целлюлозно-бумажной промышленности без значительных капитальных затрат. Внедрение TCF-схемы пероксидом водорода также не требует больших вложений.

Ключевые слова: сульфитная целлюлоза, бесхлорная отбелка, пероксид водорода, хлорит натрия, показатели качества целлюлозы, сточные воды.

В современных условиях развитие целлюлозно-бумажного производства в значительной степени связано с решением проблем, связанных с исключением или сведением к минимуму отрицательного воздействия технологического процесса на окружающую среду и повышением конкурентоспособности вырабатываемой продукции.

Производство беленой целлюлозы является наименее экологичной и весьма дорогостоящей стадией изготовления целлюлозно-бумажной продукции высокого качества. Основные проблемы связаны с образованием в процессе отбели большого количества высокозагрязненных стоков.

Непрерывный рост требований к качеству беленой целлюлозы со стороны потребителей, а также ужесточение законодательства в области охраны окружающей среды вызывают необходимость в постоянном совершенствовании существующей технологии отбели целлюлозы.

В главных мировых регионах – производителях целлюлозы – наблюдается интенсивный переход на отбелку сульфатной целлюлозы по ECF (Elemental Chlorine Free)-технологии, сульфитной и лиственной сульфатной целлюлозы – по TCF (Total Chlorine Free)-технологии, основанной на использовании комбинаций различных кислородсодержащих реагентов и, в некоторых случаях, ферментов. Обе технологии эффективны и позволяют получать высококачественную беленую целлюлозу.

В настоящее время переход на ECF-технологию чаще всего связан с использованием кислородно-щелочной делигнификации целлюлозы и отбелкой диоксидом хлора. Проводятся также интенсивные исследования по отбелке целлюлозы пероксидом водорода, которые более результативны при отбелке сульфитной целлюлозы.

В российской целлюлозно-бумажной промышленности сохраняется крупнотоннажное производство сульфитной целлюлозы, для повышения эффективности которого рациональным считается переход на бисульфитные варки повышенного выхода и отбелку целлюлозы по бесхлорным технологиям. Поэтому разработка и внедрение в промышленность ECF- и TCF-технологий, адаптированных к условиям российских сульфитцеллюлозных предприятий, целесообразны.

В данной работе приведены некоторые результаты исследований по отбелке бисульфитной и сульфитной целлюлозы по разработанным авторами ECF- и TCF-схемам [8, 7], а также характеристики промывных (сточных) вод.

TCF-схема отбели только пероксидом водорода предлагается для отбели сульфитной целлюлозы с содержанием лигнина до 4 % и включает следующие ступени: ЩП-Пд-Кук-П-К [11] (где ЩП – предварительная окислительная щелочная обработка целлюлозы в присутствии пероксида водорода; Пд – пероксидная делигнификация в щелочной среде; Кук – обработка целлюлозы раствором уксусной кислоты; П – пероксидная отбелка в щелочной среде; К – обработка целлюлозы раствором сернистой кислоты (кисловка)). Ступень Кук в схеме использована для обеспечения чередования щелочных и кислых ступеней отбели в целях создания «насосного» эффекта и повышения эффективности последующих ступеней отбели [1]; наиболее эффективной для этих целей оказалась уксусная кислота.

ECF-схема предложена авторами для отбели сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы и бисульфитной целлюлозы высокой жесткости и включает: катализируемую (молибдатом натрия) делигнификацию целлюлозы

пероксидом водорода в кислой среде, создаваемой серной кислотой, с последующей щелочной обработкой (Пк-Щ); двухступенчатую отбелку делигнифицированной целлюлозы хлоритом натрия с промежуточным окислительным щелочением (Хт₁-ЩП-Хт₂); на ступенях Хт₁ и Хт₂ для создания кислой среды (рН 4...5) использовали соляную кислоту.

Приведем полную схему отбелки: Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К, где К – кислотка [12].

Условия обработки целлюлозы на основных ступенях отбелки целлюлозы по обеим схемам оптимизированы с использованием программного пакета планирования и статистического анализа Statgraphics V.5.0 [9].

Для изучения свойств целлюлозы использовали следующие стандартные методы определения степени провара (перманганатным методом) – ГОСТ 9109; массовой доли экстрактивных веществ (смола и жиры) – ГОСТ 6841; белизны – ГОСТ 7690; прочности на разрыв при растяжении (разрывной длины) – ГОСТ 13525.1. Использован также ряд нестандартных методов определения медного числа, массовой доли лигнина [6] и «вредной» смолы [10].

Оптимальные условия обработки целлюлозы при отбелке по указанным схемам приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Оптимальные условия обработки бисульфитной целлюлозы (степень провара 125 п. е.) на ступенях Пк, Хт₁ и Хт₂ при отбелке по схеме Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К

Ступень обработки	Реагент для обработки	Расход реагента, % от абс. сухого волокна	Температура процесса, °С	Продолжительность процесса, мин
Пк	H ₂ O ₂	4,50	60	160
Хт ₁	NaClO ₂ : ед. акт. хлора ед. ClO ₂	4,00 1,52	67	120
Хт ₂	NaClO ₂ : ед. акт. хлора ед. ClO ₂	2,30 0,87	67	120

Таблица 2

Оптимальные условия обработки сульфитной целлюлозы (степень провара 100 п. е.) на основных ступенях отбелки по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К

Ступень обработки	Реагент для обработки	Расход реагента, % от абс. сухого волокна	Температура процесса, °С	Продолжительность процесса, мин
ЩП	NaOH H ₂ O ₂	2,0 0,5	75	30
Пд	H ₂ O ₂ NaOH Трилон Б	2,0 2,0 0,5	80	110
П	H ₂ O ₂ NaOH Na ₂ SiO ₃	1,7 0,7 1,7	85	150

Оптимальные расходы отбеливающих реагентов (пероксида водорода и хлорита натрия) несколько завышены по сравнению с традиционной отбелкой сульфитной целлюлозы, что обусловлено использованием для отбелки весьма жесткой целлюлозы (с высоким содержанием лигнина: 7,50 и 4,00 % в бисульфитной и сульфитной целлюлозе соответственно).

Температурные условия обработки целлюлозы на основных ступенях отбелки, приведенные в табл. 1, а также на ступенях щелочения, проведенных при традиционных условиях (60 °С), дают основание считать, что при отбелке бисульфитной целлюлозы по предлагаемой схеме возможна организация в отбельном цехе однотемпературного потока.

Включение в схему отбелки жесткой сульфитной целлюлозы предварительного окислительного щелочения в присутствии пероксида водорода обеспечивает создание на ранней стадии отбелки условий, обеспечивающих эффективную делигнификацию и отбелку целлюлозы на всех последующих этапах обработки.

С учетом особенности схемы отбелки, заключающейся в использовании и для делигнификации, и для отбелки (добелки) целлюлозы одного окислительного реагента – пероксида водорода, а также исходной небеленой целлюлозы высокой жесткости (100 п. е.), оптимальный общий расход пероксида водорода весьма умеренный. Однако оптимальные температуры обработки целлюлозы на основных ступенях отбелки несколько превышают применяемые традиционно при обычной отбелке целлюлозы.

В табл. 3, 4 приведены некоторые результаты отбелки бисульфитной и сульфитной целлюлозы при оптимальных условиях.

Из результатов отбелки по ECF- и TCF-технологиям следует, что при отбелке до практически одинаковой белизны выход беленой целлюлозы

Таблица 3

**Результаты отбелки бисульфитной целлюлозы
по схеме (Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К)**

Показатель	Значение показателя для целлюлозы		
	небеленой	после делигнификации (Пк-Щ)	беленой
Степень провара, п.е.	125	87	11
Число Каппа	43,2	24,7	1,2
Белизна, %	60,0	60,3	88,2
Выход беленой целлюлозы, % от небеленой	–	95,7	91,7
Медное число, г Cu/100 г целлюлозы	0,96	1,75	0,75
Разрывная длина (60 °ЩР; 75 г/м ²), м	10 700	10 300	9 700
Содержание в целлюлозе:			
смола и жиров, %	1,57	0,77	0,19
«вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	27,00	7,56	3,53
лигнина, %	7,50	4,15	0,22

Таблица 4

Результаты отбелки сульфитной целлюлозы по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К

Показатель	Значение показателя для целлюлозы		
	небеленой	после делигнификации (ЩП-Пд-Кук)	беленой
Степень провара, п. е.	100	56	38
Число Каппа	26,8	11,4	5,4
Белизна, %	62,3	84,2	87,0
Выход беленой целлюлозы, % от небеленой	–	95,7	93,5
Медное число, г Си/100 г целлюлозы	1,07	1,20	1,24
Разрывная длина (60 °СР; 75 г/м ²), м	8 700	7 600	7 200
Содержание в целлюлозе:			
смол и жиров, %	1,55	0,90	0,65
«вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	35,2	5,6	2,1
лигнина, %	4,00	1,50	1,08

составляет соответственно 91,7 и 93,5 %, т. е. в процессе отбелки теряются 8,3 и 6,5 % компонентов небеленой целлюлозы, из которых при отбелке бисульфитной целлюлозы на лигнин приходится 7,3 %, при отбелке сульфитной целлюлозы – 3,0 %. Обусловлено это использованием для отбелки по ЕСФ-схеме бисульфитной целлюлозы с высоким содержанием лигнина.

Использованные для отбелки целлюлозы в обеих схемах отбеливающие реагенты воздействуют на целлюлозу довольно мягко, на что указывает умеренное изменение в процессе отбелки механической прочности целлюлозы (разрывной длины) и медного числа.

Обращает на себя внимание весьма важный результат отбелки целлюлозы по обеим схемам – высокая степень обессмоливания целлюлозы как по общей, так и по «вредной» смоле. Считается, что при таком низком содержании смолы в беленой целлюлозе «смоляные затруднения» в производстве отсутствуют, т. е. решается весьма сложная проблема сульфитцеллюлозного производства – устраняются смоляные затруднения.

Качественные характеристики сточных вод, сбрасываемых на внеплощадочные очистные сооружения или в природные водоемы, являются одним из основных аспектов, позволяющих обосновать необходимость внедрения в производство ЕСФ-технологий отбелки. В настоящее время к сточным водам предъявляются весьма жесткие требования. Согласно нормативам ЕС [2], загрязнение биологически очищенных сточных вод при производстве беленой целлюлозы не должно превышать следующих уровней, кг/т возд.-сух. целлюлозы: биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – 0,33...1,50; химическое потребление кислорода (ХПК) – 10... 23; адсорбированные органические галогены (АОХ) – 0,25.

Рассмотрим основные характеристики промывных вод, образующихся при отбелке жесткой бисульфитной хвойной целлюлозы по разработанной ЕСФ-схеме и отбелке сульфитной целлюлозы по ТСФ-схеме.

Качественные показатели промывных вод после отдельных ступеней отбелки бисульфитной хвойной целлюлозы по ЕСF-схеме Пк-Щ-ХТ₁-ЩП-ХТ₂-К приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели промывных вод по ступеням отбелки жесткой бисульфитной целлюлозы

Показатель	Значения показателя						
	по ступеням					суммарные	
	Пк	Щ	ХТ ₁	ЩП	ХТ ₂	до биологической очистки	после биологической очистки
БПК ₅ , кг/т возд.-сух. волокна	0,77	0,82	0,65	0,68	0,14	3,06	0,03
ХПК, кг/т возд.-сух. волокна	10,2	10,9	9,4	6,7	3,6	40,8	18,4
pH	3,8	10,4	4,2	9,8	4,5	–	–
АОХ*	0,838					0,838	0,251

* Характеризует образующееся при отбелке количество хлорорганических соединений и рассчитывается по эмпирической формуле Гермгарда [3].

Из табл. 5 видно, что наиболее загрязненными являются промывные воды после ступеней Пк, Щ и ХТ₁, так как именно на этих ступенях удаляется основная часть лигнина.

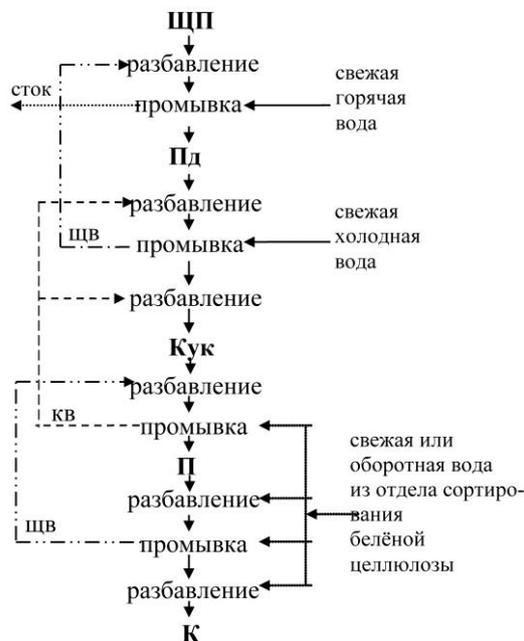
Учитывая, что биологическая очистка сточных вод позволяет снизить показатели ХПК и АОХ на 55 и 70 % соответственно [5, 4], БПК₅ – на 99 % (по данным ОАО ЦБК «Кама»), биологически очищенные сточные воды после отбелки бисульфитной целлюлозы по разработанной схеме будут характеризоваться (ориентировочно) следующими качественными показателями, кг/т возд.-сух. целлюлозы: БПК₅ – 0,03, ХПК – 18,37, АОХ – 0,251.

Таким образом, по уровню загрязненности сточных вод разработанная технология отбелки бисульфитной целлюлозы по схеме Пк-Щ-ХТ₁-ЩП-ХТ₂-К вполне отвечает современным требованиям.

Качественные показатели промывных вод после отбелки сульфитной целлюлозы только пероксидом по предлагаемой схеме ЩП-Пд-Кук-П-К (см. рисунок) существенно отличаются от приведенных выше. Окисляемость промывных вод в этом случае связана с содержанием в них значительного количества остаточного пероксида водорода и активной щелочи. Такие промывные воды целесообразно рециркулировать по противоточной схеме в целях более полного использования отбельных реагентов.

В данной схеме щелочные промывные воды после ступени окислительного щелочения, как наиболее загрязненные, направляются на нейтрализацию и далее на очистные сооружения; эти воды целесообразно пропустить через теплообменник в целях получения теплой воды. Щелочные промывные воды ступени пероксидной делигнификации поступают на разбавление массы после

Рис.1 Схема противоточной промывки целлюлозы в процессе отбелки по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К: ЩВ – щелочная промывная (оборотная) вода; КВ – кислая промывная (оборотная) вода



окислительного щелочения, от пероксидной отбелки – на разбавление массы после промежуточной обработки уксусной кислотой. Кислые промывные воды ступени промежуточной кислотки используют для разбавления массы после пероксидной делигнификации. Для промывки массы и разбавления целлюлозы после пероксидной отбелки применяют свежую воду.

По предлагаемой схеме с противоточной промывкой массы проведена в лабораторных условиях серия отбелок для определения качественных показателей промывных вод, сбрасываемых в сток. Результаты эксперимента приведены в табл. 6.

Таблица 6

Показатели сточных вод при отбелке по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К с противоточной промывкой сульфитной целлюлозы

Показатель	Значение показателя сточной воды	
	до биологической очистки	после биологической очистки
Содержание в воде, кг/т возд.-сух. волокна:		
активного хлора	Отсутствует	Отсутствует
пероксида водорода	6,6	–
щелочи (ед. NaOH)	22,4	–
Окисляемость воды, кг/т возд.-сух. волокна:		
бихроматная (ХПК)	33,0	14,9
перманганатная (ПМК)	15,4	Нет свед.
биологическая (БПК ₅)	10,9	1,1
pH	10,2	Нет свед.

По уровню загрязненности сточных вод предлагаемая ТСФ-схема отбелики сульфитной целлюлозы также отвечает современным требованиям.

Таким образом, предлагаемые ЕСФ- и ТСФ-схемы отбелики бисульфитной и сульфитной целлюлозы дают положительные результаты по выходу, показателям качества и степени обессмоливания целлюлозы, по уровню загрязненности сточные воды отвечают современным требованиям.

Выводы

1. Для отбелики жесткой бисульфитной целлюлозы с содержанием лигнина более 7 % предложена ЕСФ-схема с делигнификацией пероксидом водорода в кислой среде и отбелкой хлоритом натрия (Пк-Щ-Х_{T1}-ЩП-Х_{T2}-К), для отбелики сульфитной целлюлозы с содержанием лигнина до 4 % – ТСФ-схема только пероксидом водорода как для делигнификации, так и для отбелики (ЩП-Пд-Кук-П-К).

2. Процесс отбелики по предложенным схемам характеризуется мягким окислительным воздействием на компоненты целлюлозы: для бисульфитной целлюлозы на лигнин приходится 88 % химических потерь, для сульфитной – 46 % (при выходе беленой целлюлозы соответственно 91,7 и 93,5 % от небеленой).

3. Отбелка по предложенным схемам обеспечивает высокую степень обессмоливания целлюлозы по общей и «вредной» смоле, что способствует устранению смоляных затруднений, т. е. решению весьма сложной проблемы сульфитцеллюлозного производства.

4. Основные показатели промывных вод указывают на то, что по уровню загрязненности сточных вод предлагаемые технологии отвечают современным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аким Г.Л. Бесхлорная отбелка целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2001. № 5-6. С. 24–28.
2. Боголицын К.Г., Соболева Т.В., Гусакова М.А., Почтовалова А.С., Личутина Т.В. Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 167 с.
3. Миловидова Л.А. Комарова Г.В., Королева Т.А. Отбелка целлюлозы: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 130 с.
4. Неволин В.Ф., Шпаков Ф.В. Об устойчивости хлорированных органических соединений в технологических средах и сточных водах ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 9. С. 38–43.
5. Неволин В.Ф., Шпаков Ф.В., Стебунов О.Б. Результаты исследований для установления нормативов при сбросе хлорорганических соединений // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2003. № 3-4. С. 36–38.
6. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.

7. Пат. 2315831 РФ, МПК Д 21 С 9/10, 9/16. Способ делигнификации целлюлозы / Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Носкова О.А., Нагимов Д.Р. № 2006118774/12; заявл. 30.05.2006; опубл. 27.01.2008.

8. Пат. 2503764 РФ, МПК Д 21 С 9/10. Способ отбели бисульфитной целлюлозы / Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Синяев К.А., Носкова О.А. – № 2012151136/12; заявл. 28.11.2012; опубл. 10.01.2014.

9. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск: Кларетианум, 2003. 246 с.

10. Старостенко Н.Н., Непенин Н.Н. Сравнительное изучение способов определения вредной смолистости целлюлозы и их характеристика // Сб. тр. ЛТА. 1980. Вып. № 80. С. 3–17.

11. Хакимова Ф.Х., Нагимов Д.Р., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Новые решения в технологии бесхлорной отбели целлюлозы // Журн. приклад. химии. 2013. Вып. 10, т. 86. С.1565–1570.

12. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Ковтун Т.Н. Отбели сульфатной хвойной целлюлозы по ECF-технологии пероксидом водорода и хлоритом натрия // Лесн. журн. 2012. №4. С. 112–121. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 07.07.15

UDC 676.164.3.023.1

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.3.147

Environmentally Sound Technology of Sulphite Pulp Bleaching

F.Kh. Khakimova, Doctor of Engineering Sciences, Professor

K.A. Sinyayev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

D.R. Nagimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, Perm Krai, 614990, Russian Federation; e-mail: tcbp@pstu.ru

The work objective is to evaluate the feasibility of bisulphite pulp bleaching with a high content of residual lignin (7.5 %) by the Elemental Chlorine Free (ECF)-technology with hydrogen peroxide in acidic conditions, sodium chlorite, and sulphite pulp – by the Total Chlorine Free (TCF)-technology with hydrogen peroxide according to the authors' schemes. Bleaching is carried out in the laboratory conditions. The pulp processing conditions for individual bleaching stages are optimized with the use of the statistical analysis software package Statgraphics V.5.0. Both schemes of bleaching for hard bisulfite and sulfite pulp are characterized by the soft oxidative attack on the pulp components, very positive output results, quality parameters of pulp and a high degree of pulp depitching for general and "harmful" resin that helps to eliminate "pitch difficulties". The main parameters of wash water indicate the continuing suitability of the proposed technologies by the level of contamination of wastewater. The proposed scheme of ECF-bleaching with the replacement of the oxygen-alkali treatment by the peroxide delignification and chlorine dioxide by the water soluble and explosion-proof sodium chlorite is designed for bleaching of sulphate and hard bisulfite pulp. The scheme can be successfully implemented in any existing pulp and paper mill without the significant capital expenditure. The introduction of TCF-bleaching with hydrogen peroxide also does not require large investments.

Keywords: sulphite pulp, elemental chlorine free bleaching, hydrogen peroxide, sodium chlorite, pulp quality parameters, wastewater.

REFERENCES

1. Akim G.L. Beskhlornaya otbelka tsellyulozy [Chlorine-Free Pulp Bleaching]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2001, no. 5–6, pp. 24–28.
2. Bogolitsyn K.G., Soboleva T.V., Gusakova M.A., Pochtvalova A.S., Lichutina T.V. *Nauchnye osnovy ekologo-analiticheskogo kontrolya promyshlennykh stochnykh vod TsBP* [Scientific Fundamentals of the Environmental Analytical Control of PPI Industrial Wastewater]. Yekaterinburg, 2010. 167 p.
3. Milovidova L.A. Komarova G.V., Koroleva T.A. *Otbelka tsellyulozy* [Pulp Bleaching]. Arkhangelsk, 2005. 130 p.
4. Nevolin V.F. Shpakov F.V. Ob ustoychivosti khlorirovannykh organicheskikh soedineniy v tekhnologicheskikh sredakh i stochnykh vodakh TsBP [On the Stability of Chlorinated Organic Compounds in the Industrial Environments and PPI Wastewater]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2007, no. 9, pp. 38–43.
5. Nevolin V.F., Shpakov F.V., Stebunov O.B. Rezul'taty issledovaniy dlya ustanovleniya normativov pri sbrose khlororganicheskikh soedineniy [The Research Results for the Regulatory Standards in the Organochlorine Compounds Discharge]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2003, no. 3–4, pp. 36–38.
6. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesyiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1991. 320 p.
7. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Noskova O.A., Nagimov D.R. *Sposob delignifikatsii tsellyulozy* [Method of Pulp Delignification]. Patent RF, no. 2315831, 2006.
8. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Sinyaev K.A., Noskova O.A. *Sposob otbelki bisul'fitnoy tsellyulozy* [Method of Bisulfite Pulp Bleaching]. Patent RF, no. 2503764, 2012.
9. Pen R.Z. *Planirovanie eksperimenta v Statgraphics* [Experimental Design in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003. 246 p.
10. Starostenko N.N., Nepenin N.N. Sravnitel'noe izuchenie sposobov opredeleniya vrednoy smolistosti tsellyulozy i ikh kharakteristika [Comparative Study of the Determination Methods of Pulp Harmful Gummosity and Their Characteristics]. *Sbornik trudov Leningradskoy lesotekhnicheskoy akademii im. S.M. Kirova* [Proc. Leningrad Forest Technical Academy under name of S.M. Kirov], 1980, no. 80, pp. 3–17.
11. Khakimova F.Kh., Nagimov D.R., Khakimov R.R., Noskova O.A. Novye resheniya v tekhnologii beskhlornoy otbelki tsellyulozy [New Technology Solutions in the Pulp Elemental Chlorine Free Bleaching]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2013, iss. 10, vol. 86, pp. 1565–1570.
12. Khakimova F.Kh., Sinyaev K.A., Kovtun T.N. Otbelka sul'fatnoy khvoynoy tsellyulozy po ECF-tekhnologii peroksidom vodoroda i khloritom natriya [Bleaching of Sulphate Softwood Pulp by ECF-Technology with Hydrogen Peroxide and Sodium Chlorite]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 112–121.

Received on July 07, 2015