



УДК 676.16.022.32

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-168-177

ПРИМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ЩЕЛОЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОТБЕЛКИ ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Т.А. Королева^{1,2}, канд. техн. наук, доц.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-5864>

Л.А. Миловидова¹, канд. техн. наук, вед. инж.

Г.В. Комарова¹, канд. хим. наук, доц.; *ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6699-7374>*

А.А. Дряхлицын¹, магистр

В.В. Медведев¹, магистрант

В.Г. Мосеев³, начальник производства целлюлозы

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: t.koroleva@narfu.ru, l.milovidova@narfu.ru, g.v.komarova@narfu.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: t.koroleva@narfu.ru

³АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», ул. Мельникова, д. 1, г. Новодвинск, Архангельская область, Россия, 164900; e-mail: moseev.vadim@appm.ru

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности для отбелки целлюлозы используют диоксид хлора, кислород, пероксид водорода. Цель исследования – анализ влияния условий окислительного щелочения с добавками кислорода и пероксида водорода на процесс отбелки лиственной сульфатной целлюлозы по технологии ЕСФ. Приведены результаты эксперимента по оценке эффективности воздействия кислорода и пероксида водорода на ступени окислительного щелочения применительно к условиям, действующим на российских целлюлозно-бумажных предприятиях в схеме отбелки лиственной сульфатной целлюлозы: Д₀-Щ (ЩО, ЩП, ЩОП)-Д₁-Д₂ (Д – обработка диоксидом хлора; Щ – обработка щелочью (с кислородом, с пероксидом водорода, с кислородом и пероксидом водорода)). Оценка полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о недостаточной эффективности использования кислорода на ступени щелочения в процессе отбелки целлюлозы при обработке массы под давлением 0,2 МПа. Максимальное снижение числа каппа лиственной сульфатной целлюлозы и сокращение расхода диоксида хлора в ходе добелки позволяет обеспечить ступень окислительного щелочения с добавкой пероксида водорода в количестве 3,0 кг/т. Для схемы Д₀-ЩП-Д₁-Д₂ добавление 1,0 кг/т пероксида водорода сокращает расход диоксида хлора на добелку до 2,7 кг/т.

Для цитирования: Королева Т.А., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Дряхлицын А.А., Медведев В.В., Мосеев В.Г. Применение окислительного щелочения в процессе отбелки лиственной сульфатной целлюлозы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 168–177. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-168-177

Финансирование: При выполнении исследования было использовано оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова), созданного при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Ключевые слова: отбелка целлюлозы, технология ECF, лиственная сульфатная целлюлоза, окислительное щелочение, степень делигнификации целлюлозы, яркость целлюлозы.

Введение

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, начиная с 90-х гг., для отбелки целлюлозы используют диоксид хлора, кислород, пероксид водорода [12, 16]. Применение этих химикатов и современной технологии отбелки ECF позволяет получать беленую целлюлозу по укороченной 3–4-ступенчатой схеме.

Переход от классической 5–6-ступенчатой схемы отбелки целлюлозы к 3–4-ступенчатой схеме позволяет увеличить объем производства белой целлюлозы, снизить потребление пара, электроэнергии, свежей воды и сброс сточных вод [7]. Кроме того, сокращение числа ступеней отбелки целлюлозы сопровождается ужесточением условий их проведения – повышением расхода белящих реагентов, температуры и продолжительности, что в итоге обеспечивает увеличение скоростей химических реакций.

Для повышения эффективности щелочения и снижения расхода диоксида хлора на добелку на ступени щелочения используют добавки окислителей (газообразного кислорода), раствора пероксида водорода [14, 16], которые требуют различных условий проведения процесса.

Первые попытки добавить окислители на ступень щелочного экстрагирования были сделаны более 20 лет назад. На начальном этапе было исследовано влияние расхода реагентов (диоксида хлора и гидроксида натрия) на ступенях D_0 – $Щ_1$, а также продолжительности обработки на ступени $Щ_1$ на эффективность делигнификации целлюлозы (рис. 1, *а, б*) [19]. Расход ClO_2 оценивали по величине фактора каппа (KF), под которым понимается отношение расхода ClO_2 в ед. акт. Cl_2 в процентах от абсолютно-сухой массы к числу каппа небеленой целлюлозы.

Результаты исследования показали, что pH на ступени щелочения должен быть более 10 и расход щелочи для различных значений должен составлять 50...60 % от расхода диоксида хлора на ступени D_0 , или 20...25 кг/т (рис. 1, *а*). Рекомендуемая продолжительность ступени щелочения в исследуемом интервале температур (20...80 °C) – 60...120 мин (рис. 1, *б*).

Далее на ступень щелочения при расходе щелочи 20...25 кг/т были добавлены кислород и пероксид водорода, которые обеспечили достижение следующих результатов [19]: добавка 5 кг/т кислорода позволяет сократить расход активного хлора на добелку целлюлозы до 3 кг/т, а добавка 1 кг/т пероксида водорода – до 2 кг/т.

Современные производственные и экспериментальные данные показали, что увеличение расхода щелочи на ступени щелочной экстракции более 10...15 кг/т не влияет на эффективность обработки, оптимальные значения температуры и продолжительности обработки составляют 70...80 °C и 80...120 мин соответственно. Как правило, на целлюлозно-бумажных предприятиях в схемах ECF и TCF используется вариант щелочения с добавкой кислорода и пероксида водорода (ЩОП).

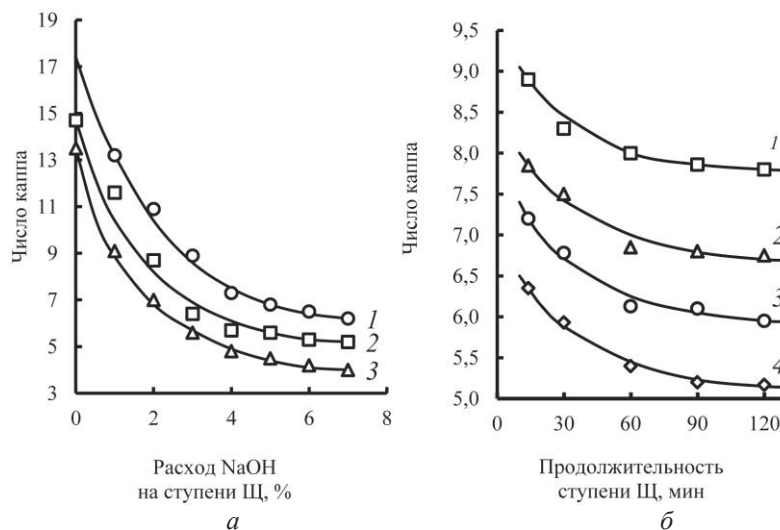


Рис. 1. Влияние расхода диоксида хлора и условий щелочения в схеме отбелки Д₀-Щ на эффективность делигнификации целлюлозы [19]: *а* – влияние расхода диоксида хлора на ступени Д₀ и гидроксида натрия на ступени Щ на снижение числа каппа (KF: 0,19 (1); 0,21 (2); 0,24 (3)); *б* – влияние продолжительности и температуры на ступени Щ на число каппа целлюлозы (температура обработки, °С: 20 (1); 40 (2); 60 (3); 80 (4))

Fig. 1. The effect of chlorine dioxide consumption and conditions of alkali treatment in the D₀-E bleaching scheme on the efficiency of pulp delignification [19]: *a* – the effect of chlorine dioxide consumption on the D₀ stage and sodium hydroxide consumption on the E stage on the Kappa number reduction (Kappa Factor: 0.19 (1), 0.21 (2), 0.24 (3)); *б* – the effect of the E-stage duration and temperature on the Kappa number of pulp (treatment temperature, °C: 20 (1); 40 (2); 60 (3); 80 (4))

Для обеспечения поглощения кислорода и оптимальных условий для реакций окисления лигнина в технологической линии требуются смеситель химикатов и отбельная башня, конструкция которой обеспечивает зону повышенного давления не менее 0,2 МПа. На российских заводах для этой цели используют башни с наружной или внутренней поглотительной колонкой, продолжительность пребывания массы в которых составляет 15...20 мин. Современным вариантом проведения окислительного щелочения является щелочение в башнях с движением массы снизу вверх, в которых продолжительность нахождения массы под давлением составляет 1 ч и более.

Информации в российских и зарубежных источниках о результатах сравнительного влияния использования кислорода и пероксида водорода на ступени окислительного щелочения в производственных условиях при различной продолжительности нахождения массы под давлением не обнаружено.

Цель исследования – анализ влияния условий окислительного щелочения с добавками кислорода и пероксида водорода на процесс отбелки лиственной сульфатной целлюлозы по технологии ECF.

Объекты и методы исследования

Для получения небеленой лиственной целлюлозы была проведена лабораторная варка производственной щепы, содержащей 70,0 % березы и 30,0 % [2] осины, с последующей кислородно-щелочной обработкой (КЩО). Включение КЩО позволяет осуществлять варку целлюлозы до более высокого значения числа каппа лиственной целлюлозы (19...20 ед.) [5, 6]. Кроме того, применение КЩО в технологическом потоке обеспечивает дополнительное удаление экстрактивных веществ [4, 10]. Использование отработанного щелока от ступени КЩО в цикле промывки небеленой целлюлозы и далее в процессе регенерации черного щелока приводит к существенному снижению сброса химического потребления кислорода (ХПК) со сточными водами варочно-отбельного участка производства беленой целлюлозы [3, 15, 18].

Варку древесины производили на установке CRS 420, имеющей 8 вращающихся автоклавов вместимостью 1200 мл. Установка имеет следующие системы: контроля и регулирования температуры с точностью ± 1 °С; регулирования давления с точностью $\pm 0,3$ МПа; расчета Н-фактора. По окончании варки автоклавы быстро охлаждали водой.

Условия варки: гидромодуль – 3; расход активной щелочи – 17,5 %. Температурный режим соответствовал условиям варки в котле Камюр. При общей продолжительности варки 48 мин, температура поддерживалась на уровне 154 °С в течение 15 мин и 160 °С в течение 33 мин, что соответствовало условиям варки в верхней и нижней варочных зонах котла.

Полученный образец небеленой лиственной целлюлозы имел следующие характеристики: выход сортированной целлюлозы – 52,0 %; число каппа – 19...20 ед. [20]; вязкость – 1180 мл/г [9].

Далее была проведена КЩО по условиям технологии Оху Трас на установке CRS 1030, оборудование которой позволяет выдерживать заданные значения температуры и давления с отклонениями ± 1 °С и $\pm 0,3$ МПа соответственно и автоматически осуществлять контроль продолжительности, температуры, давления. Реактор установки оснащен перемешивающим устройством, число оборотов которого варьируется в интервале 300...3000 об/мин, что позволяет моделировать условия смешения массы с газообразными реагентами в смесителях типа МС. Максимальная скорость нагрева массы в реакторе 2 °С в мин.

Условия проведения КЩО представлены в табл. 1, показатели лиственной сульфатной целлюлозы после КЩО – в табл. 2.

Таблица 1

Условия проведения кислородно-щелочной обработки

Показатель	Значение на ступени	
	1	2
Давление O ₂ , МПа	0,7	0,4
Температура, °С	80	95
Продолжительность, мин	30	60
Концентрация массы, %	10	10
pH _{кон}	–	12

Примечание. Общий расход NaOH на обе ступени составляет 20 кг/т.

Таблица 2

Показатели лиственной сульфатной целлюлозы после КЩО

Показатель	Значение
Число каппа	13,0
Выход, %	97,5
Химические потери, %	2,5
Вязкость, мл/г	1080
Эффективность делигнификации, %	37,2

Результаты исследования и их обсуждение

В дальнейшем использовали образцы целлюлозы после КЩО с числом каппа 13,0–15,0 ед. Образцы были отбелены по схеме с различными вариантами окислительного щелочения: Д₀–Щ (ЩО, ЩП, ЩОП) –Д₁–Д₂. На начальном этапе было определено оптимальное значение КФ на ступени Д₀, которое составило 0,30 (39...45 кг в ед. Cl₂/т).

Далее было проведено исследование влияния различных вариантов окислительного щелочения (ЩО/ЩП/ЩОП) на снижение числа каппа, яркость целлюлозы и расход белящих реагентов на установке CRS 1030 (табл. 3, 4).

Таблица 3

Условия окислительного щелочения Щ/ЩП/ЩОП лиственной сульфатной целлюлозы

Показатель	Значение
Расход щелочи, кг/т	15
Общая продолжительность обработки, мин	60
Концентрация массы, %	10
Температура, °С	70
pH _{кон}	11,0...11,5

Примечание. Продолжительность обработки под давлением 20 мин.

Таблица 4

Условия окислительного щелочения Щ/ЩП/ЩОП и показатели лиственной целлюлозы после щелочения

Показатель	Способ щелочения					
	Щ	ЩО	ЩП	ЩОП		
Расход H ₂ O ₂ , кг/т	–	–	3	1	3	5
Давление O ₂ , МПа	–	0,2	–	0,2	0,2	0,2
Остаточное содержание H ₂ O ₂ , кг/т	–	–	1,5	0,5	1,5	2,5
Число каппа, ед.:						
после Д ₀	3,9	4,7	4,2	4,1	4,2	4,7
после окислительного щелочения	3,0	3,5	2,8	3,1	2,8	3,4
Эффективность делигнификации на ступени щелочения, %	23,0	25,5	33,3	23,4	33,3	27,7
Вязкость, мл/г	1000	990	950	1080	950	940
Яркость, %	75,6	78,0	87,0	78,0	87,0	86,0

Как видно из табл. 4, добавка кислорода на щелочение практически не влияет на снижение числа каппа целлюлозы. Положительное влияние добавки кислорода оказало только на повышение яркости целлюлозы, определенной по методу [8]. По сравнению с обычным щелочением яркость увеличилась на 2,4 % (табл. 4).

Добавка пероксида водорода на щелочение (ЩП) в количестве 3 кг/т обеспечила незначительное повышение эффективности делигнификации целлюлозы (на 10,3 %) и существенно увеличила ее яркость (на 11,4 %). Такой же результат был получен для варианта ЩОП при расходе пероксида водорода 3 кг/т, т. е. в этом варианте присутствие кислорода не повлияло на результат.

Влияние количества добавленного пероксида водорода было изучено при следующих расходах: 1 и 5 кг/т. Добавка пероксида водорода в количестве 1 кг/т для варианта ЩОП по сравнению с контрольной щелочной обработкой не повлияла на снижение числа каппа целлюлозы, но, как и в случае с обработкой ЩО, она привела к увеличению яркости целлюлозы на 2,4 %. Добавка пероксида водорода 5 кг/т по сравнению с 3 кг/т не обеспечила дополнительного прироста яркости целлюлозы и снижения числа каппа, что, по-видимому, обусловлено достаточно глубоким процессом окисления компонентов целлюлозы уже при расходе пероксида водорода 3 кг/т.

Для всех вариантов окислительного щелочения значение числа каппа полученных образцов целлюлозы было близким к 3 ед. Такое значение числа каппа целлюлозы после ступеней делигнификации (Д₀–Щ) в схеме отбелки обеспечивает достаточный уровень вязкости и, соответственно, механической прочности блененой целлюлозы.

На заключительном этапе эксперимента все образцы целлюлозы были добелены диоксидом хлора в две ступени Д₁–Д₂ до конечной яркости целлюлозы 89...90 %. Условия проведения ступеней отбелки целлюлозы по схеме Д₀–Щ (ЩО, ЩП, ЩОП)–Д₁–Д₂ представлены в табл. 5, показатели блененой целлюлозы – в табл. 6.

Таблица 5

Условия ступеней отбелки лиственной сульфатной целлюлозы по схеме Д₀–Щ (ЩО, ЩП, ЩОП)–Д₁–Д₂

Показатель	Степень отбелки			
	Д ₀	Щ	Д ₁	Д ₂
Температура, °С	70	70	70	70
Продолжительность, мин	60	80	160	160
Концентрация, %	8	10	8	8
pH _{кон}	2,5	11,5	4,5	4,5

Таблица 6

Условия щелочения и показатели блененой лиственной сульфатной целлюлозы

Показатель	Способ щелочения					
	Щ	ЩО	ЩП	ЩОП		
Расход:						
Н ₂ О ₂ , кг/т	–	–	3	1	3	5
ClO ₂ , кг в ед. акт. Cl ₂ / ед. каппа	4,9	3,9	3,6	3,4	3,5	3,5
Давление О ₂ , МПа	–	0,2	–	0,2	0,2	0,2
Яркость [8], %	89,7	89,9	89,5	89,0	90,0	89,0
Вязкость, мл/г	1000	960	1000	1000	930	950

Как следует из представленных в табл. 5, 6 данных, добавки окислителя на ступени щелочения положительно влияют на сокращение расхода диоксида хлора. Расход диоксида хлора в контрольной отбелке (вариант Щ) составил 4,9 кг на ед. каппа. При обработке ЩО суммарный расход диоксида хлора в ед. акт. Cl_2 сократился на 1 кг/ед. каппа, или (в данном случае) на 13 кг/т. Для обработок ЩП и ЩОП получен более высокий результат: расход диоксида хлора в ед. акт. Cl_2 сократился на 1,3 кг/ед. каппа, или на 17 кг/т.

При отбелке образца целлюлозы по варианту ЩОП и расходе пероксида водорода 3 кг/т достигнут практически такой же уровень яркости целлюлозы – 90,0 %. Обработка целлюлозы на ступени ЩП при таком же расходе пероксида водорода (3 кг/т) обеспечила конечную яркость целлюлозы 89,5 %. Одинаковая эффективность обработок по снижению числа каппа целлюлозы и сокращению расхода ClO_2 при обработках ЩП и ЩОП и расходе 3 кг/т показывает, что добавка кислорода на ступени ЩОП может быть исключена.

Все образцы беленой целлюлозы имели высокие значения вязкости и, соответственно, высокие показатели механической прочности [1, 11, 17]. Кроме того, высокий уровень вязкости целлюлозы свидетельствует о хорошей степени избирательности воздействия кислорода и пероксида водорода на ступени окислительного щелочения.

Было сделано предположение, что недостаточный эффект воздействия кислорода обусловлен коротким временем нахождения массы под давлением (20 мин). Поэтому дополнительно был проведен эксперимент по влиянию увеличения продолжительности нахождения массы под давлением 0,2 МПа до 60 мин.

Для эксперимента был использован образец небеленой целлюлозы с числом каппа 17,5, который также был отбелен по схеме КЩО– D_0 –ЩОП. После КЩО число каппа составляло 11,4 ед.; на ступени D_0 – $KF = 0,24$ (расход диоксида хлора в ед. акт. Cl_2 – 2,74 %, или 27,4 кг/т) (табл. 7).

Таблица 7

**Условия окислительного щелочения
и показатели лиственной сульфатной целлюлозы**

Показатель	Вариант	
	1	2
Общая продолжительность обработки, мин	60	60
Продолжительность нахождения массы под давлением 0,2 МПа, мин	20	60
Расход, кг/т:		
H_2O_2	3	3
NaOH	15	15
Число каппа, ед.:		
после D_0	5,00	5,14
после окислительного щелочения	3,60	3,66
Эффективность делигнификации на ступени щелочения, %	27,4	28,8
Яркость [8], %	79,1	79,3

Как видно из табл. 7, увеличение продолжительности обработки массы под давлением до 60 мин на ступени ЩОП не приводит к повышению эффек-

тивности делигнификации и яркости целлюлозы, так как давление кислорода 0,2 МПа не обеспечивает требуемую концентрацию кислорода в системе.

Заключение

Таким образом, при оценке полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о недостаточной эффективности использования кислорода на ступени щелочения в процессе отбелки целлюлозы при обработке массы под давлением 0,2 МПа. Максимальное снижение числа каппа лиственной сульфатной целлюлозы и сокращение расхода ClO_2 при добелке позволяют обеспечить ступень окислительного щелочения с добавкой пероксида водорода в количестве 3 кг/т. Для схем отбелки Д₀–ЩП–Д₁–Д₂ пероксид водорода в количестве 1 кг/т дает возможность сократить расход ClO_2 на добелку до 2,7 кг в ед. акт. Cl_2 /т. Кроме того, обработка ЩП не требует установки дополнительного смесителя и может проводиться практически во всех башнях, предназначенных для отбелки целлюлозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Карманова Т.Е., Миловидова Л.А., Комаров В.И. Взаимосвязь вязкости с прочностными и деформационными свойствами лиственной и хвойной целлюлозы. Ч. 1. Взаимосвязь вязкости сульфатной лиственной целлюлозы с прочностными характеристиками // Целлюлоза, бумага, картон. 2015. № 1. С. 174–182. [Karmanova T.E., Milovidova L.A., Komarov V.I. Correlation between Viscosity and Stress-Strain Behavior of Hardwood and Softwood Pulp. Part 1. Correlation between Viscosity of Sulfate Hardwood Pulp and Strength Performance. *Tsellyuloza, bumaga, karton*, 2015, no. 1, pp. 174–182].
2. Миловидова Л.А., Королева Т.А., Романов М.Е., Окулова Е.О. Особенности производства беленой лиственной сульфатной целлюлозы при использовании в качестве древесного сырья березы и осины в соотношении 70:30 // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 5. С. 174–182. [Milovidova L.A., Koroleva T.A., Romanov M.E., Okulova E.O. Features of the Bleached Sulfate Hardwood Pulp Production When Using the Birch and Aspen Wood Resources in the Ratio of Seventy-to-Thirty. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2015, no. 5, pp. 174–182]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2015.5.174](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.5.174), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/083/milovidova.pdf>
3. Ali M., Sreekrishnan T.R. Aquatic Toxicity from Pulp and Paper Mill Effluents: A Review. *Advances in Environmental Research*, 2001, vol. 5, iss. 2, pp. 175–196. DOI: [10.1016/S1093-0191\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(00)00055-1)
4. Allen L., Schofield M., Faubert M., Bouchard J. Improved Deresination during Oxygen Delignification. Part II: Effects of Blended Surfactant Addition. *Pulp & Paper Canada*, 2005, vol. 106(2), pp. 41–43.
5. Fossum G., Lindqvist B., Persson L.E., Final Bleaching of Kraft Pulps Delignified to Low Kappa Number by Oxygen Bleaching. *TAPPI Journal*, 1983, vol. 66, no. 12, pp. 60–62.
6. Hart P.W., Colson G.W., Antonsson S., Hjort A. Impact of Impregnation on High Kappa Number Hardwood Pulps. *BioResources*, 2011, vol. 6, iss. 4, pp. 5139–5150.
7. Hart P.W., Santos R.B. Kraft ECF Pulp Bleaching: A Review of the Development and Use of Techno-Economic Models to Optimize Cost, Performance, and Justify Capital Expenditures. *TAPPI Journal*, 2013, vol. 12, no. 10, pp. 19–29.
8. ISO 2470:1999. *Paper, Board and Pulps – Measurement of Diffuse Blue Reflectance Factor (ISO Brightness)*. ISO/TC 6 Paper, Board and Pulps, 1999. 9 p.
9. ISO 5351:2010. *Pulps – Determination of Limiting Viscosity Number in Cupri-Ethylenediamine (CED) Solution*. ISO/TC 6 Paper, Board and Pulp, 2010. 19 p.

10. Jansson M.B., Wormald P., Dahlman O., Reactions of Wood Extractives during ECF and TCF Bleaching of Kraft Pulp. *Pulp & Paper Canada*, 1995, vol. 96, iss. 4, pp. 42–45.
11. Lapiere L., Bouchard J., Berry R. The Relationship Found between Fibre Length and Viscosity of Three Different Commercial Kraft Pulps. *Holzforschung*, 2009, vol. 63, iss. 4, pp. 402–407. DOI: [10.1515/HF.2009.072](https://doi.org/10.1515/HF.2009.072)
12. Lee C.-L., Hunt K., Murray R.W. Activated Oxygen, a Selective Bleaching Agent for Chemical Pulps. Part I: Laboratory Bleaching with Isolated and In-Situ-Generated Activated Oxygen. *Journal of Pulp and Paper Science*, 1994, vol. 20, no. 5, pp. J125–J130.
13. Lin B., He B., Liu Y., Ma L. Correlation Analysis for Fiber Characteristics and Strength Properties of Softwood Kraft Pulps from Different Stages of a Bleaching Fiber Line. *BioResources*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 5024–5033.
14. Lindholm C.-A. Alkaline Extraction of Ozone Bleached Pulp. IV: Comparison of E, (EB), (EO), (EP) and (EOP) Treatment. *Journal Pulp and Paper Science*, 1993, vol. 19, no. 3, pp. J108–J113.
15. Lindstrom L.A., Norden S. Efficient Postoxygen Washing – Crucial for Low Bleach-Plant Emissions. *Appita Journal*, 1990, vol. 43, no. 5, pp. 373–376.
16. Liskovic N., Kules M. Cellulose Peroxide Bleaching with a New Activator. *Cellulose Chemistry and Technology*, 1992, vol. 26, iss. 4, pp. 437–441.
17. Oglesby R.J., Moynihan H.J., Santos R.B., Ghosh A., Hart P.W. Does Kraft Hardwood and Softwood Pulp Viscosity Correlate to Paper Properties? *TAPPI Journal*, 2016, vol. 15, no. 10, pp. 643–651. DOI: [10.32964/TJ15.10.643](https://doi.org/10.32964/TJ15.10.643)
18. Parthasarathy V.R. Entrained Black Liquor Solids and Viscosity Selectivity in Oxygen Delignification Reinforced Hydrogen Peroxide. *TAPPI Journal*, 1990, vol. 73, iss. 9, pp. 243–247.
19. *Pulp and Paper Manufacture. Vol. 5. Alkaline Pulping*. Ed. by T.M. Grace, E.W. Malcolm, M.J. Kocurek. Atlanta, GA, TAPPI Press, 1989. 637 p.
20. *T 236 om-99. Kappa Number of Pulp*. Approved by the Pulp Properties Committee of the Process and Product Quality Division. TAPPI, 1999. 4 p. Available at: <https://research.cnr.ncsu.edu/wpsanalytical/documents/T236.PDF> (accessed 25.03.20).

THE USE OF OXIDATIVE ALKALI TREATMENT FOR SULPHATE HARDWOOD PULP BLEACHING

T.A. Koroleva^{1,2}, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-5864>

L.A. Milovidova¹, Candidate of Engineering, Leading Engineer

G.V. Komarova¹, Candidate of Chemistry, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6699-7374>

A.A. Dryakhlitsyn¹, Master

V.V. Medvedev¹, Master

V.G. Moseev³, Head of Pulp Production

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: t.koroleva@narfu.ru, l.milovidova@narfu.ru, g.v.komarova@narfu.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: t.koroleva@narfu.ru

³Arkhangelsk Pulp and Paper Mill, ul. Mel'nikova, 1, Novodvinsk, Arkhangelsk Region, 164900, Russian Federation; e-mail: moseev.vadim@apm.ru

Pulp and paper plants use chlorine dioxide, oxygen, and hydrogen peroxide for pulp bleaching. The paper aims at analyzing the effect of oxidative alkali treatment with the addition of oxygen and hydrogen peroxide on hardwood sulphate pulp bleaching using ECF technology.

The results of an experiment in assessing the performance of oxygen and hydrogen peroxide in alkali treatment are presented in relation to the conditions prevailing at the Russian plants. The scheme of hardwood pulp bleaching was as follows: D_0 -E (EO, EP, EOP)- D_1 - D_2 ; where D – chlorine dioxide treatment, E – alkali treatment (with oxygen, with hydrogen peroxide, and with oxygen and hydrogen peroxide). Evaluation of the experimental findings allows to conclude that the oxygen utilization at the alkali stage is insufficient in pulp bleaching under a pressure of 0.2 MPa. The maximum reduction in the amount of kappa sulfate pulp and a decrease in the consumption of chlorine dioxide at the final bleaching is provided by oxidative alkaline treatment with the addition of hydrogen peroxide with a flow rate of 3.0 kg/t. For the D_0 -EOP- D_1 - D_2 scheme, the addition of 1.0 kg/t of hydrogen peroxide reduces the consumption of chlorine dioxide at the stages of the final bleaching of pulp to 2.7 kg/t.

For citation: Koroleva T.A., Milovidova L.A., Komarova G.V., Dryakhlitsyn A.A., Medvedev V.V., Moseev V.G. The Use of Oxidative Alkali Treatment for Sulphate Hardwood Pulp Bleaching. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 4, pp. 168–177. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-168-177

Funding: The equipment of the Innovative Facilities Engineering and Innovation Center “Advanced Northern Bioresources Processing Technologies (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov) was used during the research. The center was founded with the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Keywords: pulp bleaching, ECF technology, sulphate hardwood pulp, oxidative alkali treatment, pulping degree, pulp brightness.

Поступила 25.09.19 / Received on September 25, 2019
