

5. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 676.022.62

О.П. Ковалева, С.Р. Алексеев, О.В. Петруничев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВАРОЧНЫЙ РАСТВОР НА КАЧЕСТВО СУЛЬФАТНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Введение. Производство целлюлозы основано на химической переработке растительного сырья с целью освобождения её от сопутствующих веществ – лигнина, гемицеллюлоз, смол, жиров, танинов и др. Выделение целлюлозы из растительного сырья называется процессом делигнификации, или варкой [Технология..., 2003; Производство..., 2016]. Сульфатный способ получения целлюлозы наиболее распространен, в качестве варочного реагента используют раствор гидроксида и сульфида натрия – белый щелок. С целью улучшения качества получаемой целлюлозы в варочный раствор могут быть добавлены вспомогательные химические вещества [Информационно-технический..., 2023].

Повышение производительности производства является ключом к снижению себестоимости продукции. Изменение параметров варки целлюлозы, таких как продолжительность и температура варки, может привести к незначительному повышению производительности, поскольку большинство из них поддерживается на оптимальном уровне в процессе работы варочной установки. Большинство усилий по повышению производительности направлены на повышение выхода крафт-целлюлозы за счет защиты полисахаридов от постепенной деструкции в процессе варки. Также проводятся интенсивные исследования по разработке добавок вспомогательных химических веществ для улучшения процесса варки крафт-целлюлозы и повышения её качества на основе поверхностно-активных реагентов.

Содержание экстрактивных веществ в лиственной целлюлозе является важным показателем её качества. Многолетней проблемой на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности являются смоляные затруднения, негативно влияющие как на качество готовой продукции, так и на техноло-

гический процесс её получения. В лиственных породах древесины, таких как берёза и осина, смолистые вещества содержатся в сердцевинных и радиальных лучах, в паренхимных клетках древесины, а также в коре и лубе. Традиционными способами решения проблемы являются выдерживание древесины на воздухе, повышение качества технологической щепы, промывка волокнистого полуфабриката горячей водой, регулирование величины рН и выравнивание температуры по производственному потоку, использование различных диспергаторов [Аллен, Лапойнт, 2003; Печурина, 2006], отделение мелкого волокна, добавка наполнителей в бумажную массу.

Вопросами снижения смоляных затруднений и контроля за количеством и состоянием «вредной» смолы начали заниматься еще в 50-е гг. XX века применительно к сульфитному способу производства целлюлозы [Хирози, Вассабура, 1965]. В последние годы большое внимание уделяется контролю смолистых отложений (pitch control) в целлюлозно-бумажном производстве, идет поиск эффективных добавок для снижения степени смолистости волокнистых полуфабрикатов; используемые на стадии варки поверхностно-активные вещества не в полной мере позволяют достичь требуемого результата.

В лиственных породах древесины жирные кислоты преимущественно содержатся в вертикальной лучевой паренхиме, при этом мелкие частицы смолы находятся в порах паренхимных клеток, что приводит к невозможности их удаления из волокна. Поверхностно-активные вещества при варке способствуют снижению «смоляных затруднений» при переработке целлюлозы лиственных пород [Печурина и др., 2003]. В работе [Прокшин и др., 2008] показано, что в присутствии поверхностно-активных веществ происходит повышение скорости диффузии лигнина и смолистых веществ в волокнах целлюлозы.

Присутствие поверхностно-активных веществ снижает поверхностное натяжение между жидкостью и древесной щепой, что способствует быстрому проникновению щелока во внутреннюю матрицу щепы и обеспечивает более равномерную варку при селективной делигнификации, снижение количества непровара и содержания экстрактивных веществ в полученной целлюлозе [Duggirala, 2000].

Поверхностно-активные вещества используются в различных продуктах химической промышленности, таких как фармацевтические препараты, моющие средства, отбеливатели и пр. Данные вещества способны при низкой концентрации адсорбироваться на поверхностях и границах раздела фаз, тем самым изменяя свою свободную энергию. [Akadiri, 2010]. Как объясняется в исследовании [Rosen, 2004], для обеспечения поверхностной

активности в конкретной системе поверхностно-активное вещество должно иметь амфипатическую структуру. Амфипатическая структура состоит из лиофильной группы, которая обладает сильным притяжением к растворителю, и лиофобной группы, которая обладает притягательной способностью к твердой фазе. В случае поверхностно-активного вещества, растворенного в водной среде, лиофобную группу также называют гидрофобной. Благодаря своей амфипатической структуре поверхностно-активные вещества концентрируются на поверхности, а не в объёме.

Экстрактивные вещества, присутствующие в структуре древесины, могут препятствовать процессу проникновения варочного раствора. Они представляют собой сложные смеси смоляных кислот, жирных кислот, спиртов и других химических веществ; их состав отличается для разных пород деревьев и частей дерева. Экстрактивные вещества находятся в порах древесной щепы и препятствуют проникновению варочного раствора. Для улучшения процесса пропитки древесной щепы необходимо снизить поверхностное натяжение между варочным раствором и материалом, в состав которого входят экстрактивные вещества. Поверхностно-активные вещества способствуют эмульгированию и растворению экстрактивных веществ, тем самым освобождая поры древесной щепы для проникновения варочного раствора [Chen, 1994; Wei et al., 2006]. [Chen et al., 2010] высказано предположение, что поверхностно-активные вещества «могут улучшить смачивание поверхности древесной щепы, позволяя варочному реагенту быстро проникать во внутренние слои, распределяясь по капиллярам, эмульгируя и солубилизируя смолы и/или лигнин».

Как отмечалось в [Duggirala, 2000; Mishra et al., 2007], применение добавок неионогенных поверхностно-активных веществ способствовало повышению выхода небеленой и беленой целлюлозы и улучшению её прочностных свойств.

Известно, что продукты термического разложения экстрактивных веществ придают небеленой целлюлозе темный цвет. В работе [Mishra et al., 2007] оценили воздействие поверхностно-активных веществ на предотвращение отложения продуктов разложения экстрактивных веществ на поверхности волокон. Целью лабораторных исследований по использованию поверхностно-активных веществ в качестве добавок в варочный раствор было установить их эффективность в повышении выхода целлюлозы и снижении количества непровара, снижение расхода отбеливателя, улучшение качества целлюлозы и характеристик сточных вод. При традиционной варке присутствие различных поверхностно-активных веществ сводит к минимуму отложение термически разрушенных веществ на поверхности

волокон, предотвращая тем самым их потемнение. Удаление экстрактивных веществ также способствует снижению содержания остаточного лигнина в целлюлозе, поскольку именно эти соединения окисляются раствором перманганата при определении степени делигнификации целлюлозы.

В работе [Ahluwalia et al., 1992] также показано, что применение добавок поверхностно-активных веществ в варочный раствор в количестве 0,05–0,10% к массе абсолютно сухой древесины приводит к некоторому повышению выхода небеленой целлюлозы и снижению количества непровара. Это связано с тем, что добавки на основе поверхностно-активных веществ снижают поверхностное натяжение между щелоком и древесной щепой, обеспечивая значительное увлажнение поверхности щепы и способствуя быстрому проникновению щелока во внутреннюю матрицу щепы. Лучшее проникновение варочного раствора в древесную щепу способствует более быстрому обессмоливанию древесной щепы. Также было отмечено увеличение остаточной активности щелочи в черном щелоке по сравнению с холодным экспериментом.

Как показано в работе [Pitch..., 2000], использование добавок поверхностно-активных веществ во время варки целлюлозы является одним из способов контроля и устранения проблемы со смолой в получаемой целлюлозе. В исследовании [Kathomdani et al., 2022] приведены данные по получению крафт-целлюлозы из гибрида акации с добавлением различных неионогенных поверхностно-активных веществ. Результаты показали, что тип и дозировка поверхностно-активных веществ не оказали существенного влияния на степень делигнификации и выход целлюлозы, а также на количество непровара в ней. С другой стороны, добавки поверхностно-активных веществ в значительной степени повлияли на экстрактивность крафт-целлюлозы. В данном исследовании был сделан вывод, что при удалении экстрактивных веществ щелок способен проникать в щепу глубже и быстрее, варка целлюлозы происходит более равномерно, что приводит к снижению числа Каппа, количества непровара в целлюлозе, содержания смолы и увеличению остаточной активной щелочи в черном щелоке.

По мнению [Mishra et al., 2007; Kathomdani et al., 2022], поверхностно-активные вещества в качестве добавок для варки целлюлозы снижают поверхностное натяжение между варочным раствором и лигноцеллюлозным материалом, что приводит к смачиванию гидрофобной поверхности материала и помогает диспергировать экстракты из древесной щепы. В результате быстрого проникновения варочного раствора в щепу улучшаются показатели варки: снижается число Каппа и количество непровара в целлюлозе. Показано, что использование поверхностно-активных веществ

при расходе 0,1% к массе абсолютно сухой древесины снижает содержание экстрактивных веществ в целлюлозе на 58% по сравнению с контролем (без добавления поверхностно-активных веществ).

В работе [Вураско и др., 2025] представлены результаты исследований влияния варочно-диспергирующих добавок отечественного производства на выход и степень делигнификации целлюлозы, а также количественное содержание в ней смолы, при сульфатных варках смеси щепы из древесины осины и березы (1:1). Применение всех добавок привело к снижению содержания массовой доли экстрактивных веществ в технической целлюлозе в 1,25–2,0 раза по сравнению с контрольной варкой (1,0 % от а.с.ц.); исследуемые образцы целлюлозы не содержали капсулированной (внутриволоконной) смолы.

Экономичным и технологически простым решением дополнительного снижения общей смолистости целлюлозы после варки является введение поверхностно-активных веществ на стадии промывки волокна [Смит, 2021]. Интенсифицировать процесс обессмоливания и снизить расход химических реагентов позволяет применение синергетических смесей поверхностно-активных веществ в присутствии биокатализаторов, использование которых является одним из направлений наилучших доступных технологий в ЦБП [Копнина и др., 2015; Смит и др., 2019].

В статье [Якубова и др., 2021] рассмотрено влияние добавок поверхностно-активных веществ на основные физические и коллоидно-химические характеристики черного щелока до и после отделения сульфатного мыла. В результате введения добавок поверхностно-активных веществ наблюдается снижение вязкости и уменьшение пенообразования раствора черного щелока.

Целью лабораторных исследований по использованию поверхностно-активных веществ в варочном растворе для сульфатной варки было установить их влияние на выход целлюлозы и количество непровара в ней, а также на содержание экстрактивных веществ в полученном волокнистом полуфабрикате.

Задачи работы:

- определить содержание экстрактивных веществ в щепе, полученной из лиственных пород древесины;
- провести серию сульфатных варок лиственной древесины по одному технологическому режиму без добавок и с добавками поверхностно-активных веществ;
- определить общий выход лиственной целлюлозы и количество непровара в полученной целлюлозе;
- провести анализ целлюлозы на содержание остаточного лигнина и экстрактивных веществ.

Материалы и методика исследования. Для выполнения исследования была использована технологическая щепка лиственной древесины, состоящая из смеси берёзы (85%) и осины (15%). Анализ результатов фракционирования щепы из лиственной древесины показал, что основная фракция технологической щепы (87,4%) соответствует марке Ц-2 согласно требованиям ГОСТ 15815; также отмечено присутствие коры (1,2%) и гнили (0,8%).

До проведения исследований щепка высушивалась при комнатной температуре в течение недели с целью выравнивания влажности по всему объёму щепы. Для анализа древесины на содержание экстрактивных веществ методом квартования была взята навеска щепы массой 20,1 г и измельчена до фракции 0,25/0,5 мм (опилки).

Как известно, среднее содержание экстрактивных веществ в древесине берёзы – 2,25%, а в древесине осины – 2,7% [Никитин и др., 1978]. Определение содержания экстрактивных веществ в древесине проводилось в аппарате Э-8: 1 г опилок помещался в гильзу из фильтровальной бумаги, предварительно проэкстрагированной этим же растворителем. Определение содержания экстрактивных веществ в целлюлозе производилось с использованием дихлорметана. Дихлорметан – слабо полярный растворитель, по сравнению с этанолом извлекает определенные вещества, такие как смолы и жиры [Дейнеко, Фаустова, 2015]. Экстрагирование древесных опилок проводилось согласно ГОСТ 6841 «Метод определения смол и жиров»; среднее содержание экстрактивных веществ в щепе составило 1,038%.

Для приготовления варочного раствора (белого щелока) для сульфатной варки были использованы растворы гидроксида и сульфида натрия. Характеристика белого щелока: сульфидность – 25%, концентрация активной щелочи – 100 г/л в ед. Na₂O. Для определения общей титруемой щелочи применялось титрование 0,5N раствором HCl в присутствии индикатора метиленовый оранжевый. Для анализа белого щелока применялось два метода определения концентраций для устранения погрешности опыта [Правилова, 1984]. Результаты определения характеристики варочного раствора представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика белого щелока
Characteristics of white liquor

Параметр	Среднее содержание		
	1 метод	2 метод	среднее
Общая титруемая щелочь, г/л ед. Na ₂ O	107,3	107,3	107,3
Концентрация активной щелочи, г/л ед. Na ₂ O	107,0	106,6	106,8
Сульфидность, %	25,5	25,8	25,6

Условия лабораторной сульфатной варки: конечная температура варки – 165°C, расход активной щелочи – 18,5%, Н-фактор – 1400. В автоклав объемом 350 мл загружалось 60 г влажной щепы, после заливался белый щелок, исходя из гидромодуля 4,5. Пропитка древесной щепы варочным раствором производилась в течение 24 ч для создания условий, приближенных к производственным условиям пропитки щепы под давлением. Подъем температуры в автоклаве производили в течение 90 мин, включая остановку (15 мин) по достижении температуры 105°C для выравнивания температуры по всему объему автоклава. Температурный график сульфатной варки соответствовал расчету Н-фактора.

Для исследования были использованы зарубежные коммерческие марки поверхностно-активных веществ Dispersol YZ5318, Dispersol PCS 306, Dispersol YZ5850 предположительно неионогенного характера. Расход поверхностно-активных веществ на варку составлял 0,1% от массы абсолютной сухой древесины.

Результаты и обсуждение. В результате сульфатных варок была получена техническая целлюлоза, определен общий выход лиственной целлюлозы, количество непровара в полученной целлюлозе, проведен анализ целлюлозы на содержание остаточного лигнина (число Каппа) и экстрактивных веществ (табл. 2).

Таблица 2

Результаты сульфатных варок
The results of sulfate cooking

Варочный раствор	Общий выход целлюлозы, %	В том числе непровар, %	Число Каппа	Содержание экстрактивных веществ, %	Относительная инструментальная погрешность, %
Без добавок	47,91	1,13	27	0,067	0,06 ±1,0
	47,56	0,93	26	0,068	
С добавкой YZ5318	47,77	1,06	27	0,032	0,03 ±0,35
	46,56	1,10	27	0,031	
С добавкой PCS 306	47,66	0,81	26	0,017	0,02 ±1,7
	47,48	0,97	26	0,018	
С добавкой YZ5850	47,30	1,06	27	0,010	0,01 ±2,8
	46,83	1,40	27	0,010	

На основании данных табл. 2 можно заключить, что при прочих равных условиях сульфатной варки с добавками поверхностно-активных ве-

шесть и без добавок, выход лиственной целлюлозы в среднем составил 47,3% без заметного влияния наличия поверхностно-активных веществ в варочном растворе на данный показатель. Количество непровара в полученной целлюлозе также варьировалось в пределах 1% при числе Каппа 27. При этом среднее содержание непровара в целлюлозе, полученной от варки лиственной древесины без добавок, составило 1,03%, в то время как в случае варки с добавкой в варочный раствор PCS 306 количество непровара в целлюлозе снизилось на 14% (0,89%).

Присутствие поверхностно-активных веществ в значительной степени повлияло на содержание экстрактивных веществ в полученных образцах целлюлозы. Добавка в варочный раствор Dispersol YZ5318 привела к снижению смолистости целлюлозы в 2 раза, а добавки Dispersol PCS 306 и Dispersol YZ5850 позволили снизить содержание экстрактивных веществ в 3 и 6 раз соответственно.

Использование добавок поверхностно-активных веществ в белый щелок может повлиять на характеристики отработанного черного щелока, поступающего в систему регенерации химикатов сульфат-целлюлозного завода. Влияние добавок поверхностно-активных веществ на физико-химические характеристики черного щелока можно оценить по показателю поверхностного натяжения – важной термодинамической характеристике раствора. Результаты анализа черного щелока от сульфатных варок представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа черного щелока от сульфатных варок

The results of the analysis of black liquor from sulfate cooking

Черный щелок	Поверхностное натяжение, мН/м	% от контрольного образца	Снижение показателя, %
Без добавок	53,1	100,0	–
С добавкой YZ5318	49,8	93,7	–6,3
С добавкой PCS 306	50,2	94,5	–5,5
С добавкой YZ5850	50,6	95,2	–4,8

Как видно из данных табл. 3, присутствие поверхностно-активных веществ несколько понижает поверхностное натяжение черного щелока, в среднем на 5-6%.

Поскольку скорость испарения жидкости ограничена теплопередачей и вязкостью, а не поверхностными силами [Тепло-..., 1982], то пузырько-

вое кипение в щёлоче определяется температурой насыщения и содержанием неорганических веществ, а не межфазным натяжением на границе «жидкость-пар». Понижение поверхностного натяжения может даже улучшить дегазацию и уменьшить пенообразование, если концентрация поверхностно-активных веществ низкая. При высокой концентрации возможна пена и нестабильность уровня кипения. Исследования [Старжинская, 2024], показали, что при отстаивании черного щелока применение поверхностно-активных веществ способствует агрегации частиц сульфатного мыла, и, как следствие, увеличивается его выход. Соли жирных и смоляных кислот в составе щелока снижают поверхностное натяжение. При удалении части поверхностно-активных веществ поверхностное натяжение повышается. При этом установлено, что поверхностно-активные вещества, как неионогенные, так и ионогенные, снижают поверхностное натяжение щелока в равной степени; после отстаивания черного щелока поверхностное натяжение увеличивается.

Снижение поверхностного натяжения увеличивает способность черного щелока к пенообразованию, однако при низком содержании поверхностно-активных веществ в черном щелоке это не должно вызвать проблемы для работы выпарных аппаратов.

Закключение. Исследования показали, что добавка поверхностно-активных веществ марки Dispersol в варочный раствор для сульфатной варки незначительно влияет на выход целлюлозы, а также на содержание остаточного лигнина в ней. Содержание непровара в полученной целлюлозе при добавлении на варку поверхностно-активных веществ марки Dispersol PCS 306 снижается на 14% по сравнению с варкой без добавок. При этом использование добавок поверхностно-активных веществ в варочный раствор для сульфатной варки лиственной древесины позволяет снизить содержание экстрактивных веществ в полученной целлюлозе в 2-6 раз. Небольшой расход поверхностно-активных веществ на варку не должен в значительной степени повлиять на характеристики отработанного черного щелока, поступающего в выпарные аппараты.

Вклад авторов. Вклад каждого автора равнозначен.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Аллен Л., Лапойнт С. Повышение степени обессмоливания небеленой сульфатной целлюлозы в процессе ее промывки на канадском предприятии. // Pulp Paper Can. 2003. №12. С. 59-62.

Вураско А.В., Пепелин М.А., Пермяков А.Н., Атаева Ю.Г., Самородов С.А., Агеев М.А., Шерстобитов А.Л., Сиваков В.П., Губанов И.А. Применение варочно-диспергирующих добавок при сульфатной делигнификации композиции лиственных пород древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 304-320.

Дейнеко И.П., Фаустова Н.М. Элементный и групповой химический состав коры и древесины осины // Химия растительного сырья. 2015. №1. С. 51-62.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-1 2023. Целлюлозно-бумажное производство. М.: Бюро НДТ, 2023. 459 с.

Копнина Р.А., Демьянцева Е.Ю., Карпов И.А., Андронович О.С. Влияние смесей амфифильных соединений и ферментных препаратов на смолистость волокнистых полуфабрикатов // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 42, № 4. С. 158-161.

Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 368 с.

Печурина Т.Б. Использование диспергаторов с целью снижения смоляных затруднений при производстве блененной лиственной сульфатной целлюлозы: дисс. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2006. 141 с.

Печурина Т.Б., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Комаров В.И. Влияние добавок диспергантов на изменение состояния смолы и содержание экстрактивных веществ в лиственной сульфатной целлюлозе // ИВУЗ. Лесной журнал. 2003. № 2-3. С. 68–75.

Правилова Т.А. Химический контроль производства сульфатной целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 256 с.

Производство сульфатной целлюлозы: учеб. пособие / сост. Ю.С. Иванов, А.Г. Кузнецов, Л.Ю. Бабкина. СПб., 2016. Ч. II. 72 с.

Прошкин Г.Ф., Гусакова М.А., Афанасьев Н.И., Личутина Т.Ф., Вишнякова А.П., Фесенко А.В. Особенности образования и механизм извлечения остаточного лигнина и смолы при сульфатной варке березовой и осиновой целлюлозы // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 5–10.

Смит Р.А. Влияние синергетических композиций поверхностно-активных веществ и липазы на остаточную смолистость волокнистых полуфабрикатов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2021. 16 с.

Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андронович О.С. Анализ состояния смолы при обессмоливании сульфатной лиственной целлюлозы // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019. № 4. С. 168-178.

Старжинская Е.В. Совершенствование технологии промывки сульфатного мыла из смеси щелоков от варки древесины различных пород: дисс. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2024. 156 с.

Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. I: Сырьё и производство полуфабрикатов. Ч. 2: Производство полуфабрикатов. СПб.: Политехника, 2003. 633 с.

Хирози Я., Вассабуро К. Исследование смоляных затруднений сульфитной целлюлозы с применением ПАВ // Сэнъи Гиккайси. 1965. № 11. С. 68.

Якубова О.С., Демьянцева Е.Ю., Смит Р.А. Физико-химические характеристики черного щелока до и после извлечения сульфатного мыла в присутствии добавок поверхностно-активных веществ // Химия растительного сырья. 2021. №4. С. 337-343.

Ahluwalia M.R, Coffy J.M, Norris A.D. Emerging technology in kraft pulping with digester additives // CPPA Conference Proceedings. 1992. P. 1.

Akadiri M.M.A. The role of surfactants in the processes of pulp craft cooking / Department of Chemical Engineering. Montreal: McGill University, 2010. 67 p.

Pitch Control, Wood Resin and Deresination. Atlanta, GA: TAPPI Press, 2000. 392 p.

Chen G.C. Application of a surfactant as a kraft pulping additive // Tappi Journal. 1994. Vol. 77, no. 2. P. 125-128.

Chen D., Zhao J., Berry R., Berk D., Kubes G. A method for measuring pulping liquor penetration into the wood structure // Cellulose Chemistry and Technology. 2010. Vol. 44, no. 9. P. 319-325.

Duggirala P.Y. Surfactant based digester additive technology for kraft soft wood and hard wood pulping // Appita Journal. 2000. Vol. 53, iss. 1. P. 41-48.

Kathomdani P.D.S., Marsoem S.N., Sunarti S., Nirsatmanto A. Effect of surfactant application on acacia hybrid kraft pulp properties // Cellulose Chemistry and Technology. 2022. Vol. 56, no. 5-6. P. 619-624.

Mishra R.P., Maheshwari G.D., Bhargava G.G., Dasgupta T.K., Thusu N.K. Effect of Surfactant Application on Pulping Characteristics of Mill Chips and Reduction in Pollution Load // IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association. 2007. Vol. 19, no. 1. P. 61-65.

Rosen M.J. Surfactants and Interfacial Phenomena. 3rd ed. New Jersey, USA: Wiley-Interscience, 2004. 500 p.

Wei H., Ukem N., Berk D., Kubes G.J. The role of surfactants in wood deresination // Cellulose Chemistry and Technology. 2006. Vol. 40, no. 1. P. 71-75.

References

Ahluwalia M.R, Coffy J.M, Norris A.D. Emerging technology in kraft pulping with digester additives. *CPPA Conference Proceedings*, 1992, p. 1.

Akadiri M.M.A. The role of surfactants in the processes of pulp craft cooking / Department of Chemical Engineering. Montreal: McGill University, 2010. 67 p.

Allen L., Lapoint S. Increasing the degree of desalination of unbleached sulfate pulp during its washing at a Canadian enterprise. *Pulp Paper Can.*, 2003, no. 12, pp. 59-62. (In Russ.)

Chen G.C. Application of a surfactant as a kraft pulping additive. *Tappi Journal*, 1994, vol. 77, no. 2, pp. 125-128.

Chen D., Zhao J., Berry R., Berk D., Kubes G. A method for measuring pulping liquor penetration into the wood structure. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2010, vol. 44, no. 9, pp. 319-325.

Deyneko I.P., Faustova N.M. The elemental and group chemical composition of aspen bark and wood. *Chemistry of plant raw materials*, 2015, no. 1, pp. 51-62. (In Russ.)

Duggirala P.Y. Surfactant based digester additive technology for kraft soft wood and hard wood pulping. *Appita Journal*, 2000, vol. 53, iss. 1, pp. 41-48.

Heat and mass transfer. Thermal engineering experiment. Moscow: Energoizdat, 1982. 512 p. (In Russ.)

Hiroshi Ya., Wassaburo K. Investigation of resin difficulties of sulfite cellulose using surfactants. *Senyi Gikkaishi*, 1965, no. 11, pp. 68. (In Russ.)

Information and technical handbook on the best available technologies ITS-1 2023. Pulp and paper production. Moscow: Bureau NDT, 2023. 459 p. (In Russ.)

Kathomdani P.D.S., Marsoem S.N., Sunarti S., Nirsatmanto A. Effect of surfactant application on acacia hybrid kraft pulp properties. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2022, vol. 56, no. 5-6, pp. 619-624.

Kopnina R.A., Demyantseva E.Yu., Karpov I.A., Andranovich O.S. The effect of mixtures of amphiphilic compounds and enzyme preparations on the tariness of fibrous semi-finished products. *Butlerov communications*, 2015, vol. 42, no. 4, pp. 158-161. (In Russ.)

Mishra R.P., Maheshwari G.D., Bhargava G.G., Dasgupta T.K., Thusu N.K. Effect of Surfactant Application on Pulping Characteristics of Mill Chips and Reduction in Pollution Load. *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*, 2007, vol. 19, no. 1, pp. 61-65.

Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. Chemistry of wood and cellulose. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1978. 368 p. (In Russ.)

Pechurina T.B. The use of dispersants to reduce resin difficulties in the production of bleached deciduous sulfate cellulose. Diss. ... Cand. Tech. Sci. Arkhangelsk, 2006. 141 p. (In Russ.)

Pechurina T.B., Milovidova L.A., Komarova G.V., Komarov V.I. The effect of dispersant additives on the change in resin state and the content of extractives in deciduous sulfate cellulose. *Forestry journal*, 2003, no. 2-3, pp. 68-75. (In Russ.)

Pitch Control, Wood Resin and Deresination. Atlanta, GA: TAPPI Press, 2000. 392 p.

Pravilova T.A. Chemical control of sulfate cellulose production. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1984. 256 p. (In Russ.)

Prokshin G.F., Gusakova M.A., Afanasyev N.I., Lichutina T.F., Vishnyakova A.P., Fesenko A.V. Features of formation and mechanism of extraction of residual lignin and resin during sulfate cooking of birch and aspen cellulose. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2008, no. 2, pp. 5-10. (In Russ.)

Rosen M.J. Surfactants and Interfacial Phenomena, 3rd ed. New Jersey, USA: Wiley-Interscience, 2004. 500 p.

Smith R.A. The effect of synergistic compositions of surfactants and lipase on the residual tariness of fibrous semi-finished products: author's abstract. Diss. ... Cand. Chem. Sci. St. Petersburg, 2021. 16 p. (In Russ.)

Smith R.A., Demyantseva E.Yu., Andranovich O.S. Analysis of the resin state during desalination of sulfate deciduous cellulose. *Forestry journal*, 2019, no. 4, pp. 168-178. (In Russ.)

Starzhinskaya E.V. Improving the technology of washing sulfate soap from a mixture of lye from cooking wood of various species. Diss. ... Cand. Tech. Sci. Arkhangelsk, 2024. 156 p. (In Russ.)

Sulfate pulp production: a textbook / comp. Yu.S. Ivanov, A.G. Kuznetsov, L.Y. Babkina. St. Petersburg, 2016. P. II. 72 p. (In Russ.)

The technology of pulp and paper production: in 3 vol. Vol. I: Raw materials and production of semi-finished products. P. 2: Production of semi-finished products. St. Petersburg: Polytechnic, 2003. 633 p. (In Russ.)

Vurasko A.V., Pepelin M.A., Permiakov A.N., Ataeva J.G., Samorodov S.A., Ageev M.A., Sherstobitov A.L., Sivakov V.P., Gubanov I.A. The use of cooking and dispersing additives in the sulfate delignification of the composition of hardwood. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*, 2025, iss. 253, pp. 304-320. (In Russ.)

Wei H., Ukem N., Berk D., Kubes G. J. The role of surfactants in wood deresination. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2006, vol. 40, no. 1-2, pp. 71-75.

Yakubova O.S., Demyantseva E.Yu., Smith R.A. Physics-chemical characteristics of black liquor before and after extraction of sulfate soap in the presence of additives of surfactants. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2021, no. 4, pp. 337-343. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 12.05.2025

Ковалева О.П., Алексеев С.Р., Петруничев О.В. Исследование влияния добавок поверхностно-активных веществ в варочный раствор на качество сульфатной лиственной целлюлозы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 256. С. 539–553. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.539-553

В статье рассматриваются перспективы применения поверхностно-активных веществ при сульфатной варке целлюлозы. Присутствие поверхностно-активных веществ снижает поверхностное натяжение между жидкостью и древесной щепой, что способствует быстрому проникновению щелока во внутреннюю матрицу щепы и обеспечивает селективную делигнификацию, снижение количества непровара и содержания экстрактивных веществ в полученной целлюлозе. Исследования компонентного состава лиственной древесины, представляющей смесь березы и осины, показали, что содержание экстрактивных веществ в ней составило 1,037%. Сульфатные варки были проведены по классической схеме и с добавками поверхностно-активных

веществ марки Dispersol. Расход поверхностно-активных веществ на варку составлял 0,1% от массы абсолютно сухой древесины. В результате варок получена техническая сульфатная целлюлоза, определен общий выход лиственной целлюлозы, количество непровара в полученной целлюлозе, произведен анализ целлюлозы на содержание остаточного лигнина и экстрактивных веществ. Исследования показали, что добавка поверхностно-активных веществ марки Dispersol в варочный раствор для сульфатной варки незначительно влияет на выход целлюлозы и содержание остаточного лигнина. Содержание непровара в полученной целлюлозе при добавлении в варочный раствор поверхностно-активных веществ марки Dispersol PCS 306 снижается на 14% по сравнению с варкой без добавок. При этом использование добавок поверхностно-активных веществ в варочный раствор для сульфатной варки лиственной древесины позволяет снизить содержание экстрактивных веществ в полученной целлюлозе в 2-6 раз. Присутствие данных поверхностно-активных веществ в варочном растворе понижает поверхностное натяжение отработанного черного щелока на 5-6%, но их небольшой расход на варку не должен в значительной степени повлиять на работу выпарных аппаратов.

Ключевые слова: лиственная древесина, сульфатная варка, поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение целлюлоза, экстрактивные вещества.

Kovaleva O.P. Alekseev S.R. Petrunichev O.V. Investigation of the effect of additives of surfactants in the cooking solution on the quality of sulfate hardwood cellulose. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 539–553 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.539-553

The article discusses the prospects for the use of surfactants in sulfate cooking. The presence of surfactants reduces the surface tension between the liquid and the wood chips, which promotes the rapid penetration of the liquor into the inner matrix of the chips and ensures selective delignification, reducing the amount of undercooked pulp and the content of extractives in the resulting pulp. Studies of the component composition of hardwood, which is a mixture of birch and aspen, showed that the content of extractive substances in it was 1.037%. Sulfate cooking was carried out according to the classical scheme and with additives of surfactants of the Dispersol brand. The consumption of surfactants for cooking was 0.1% of the weight of absolutely dry wood. As a result of the brews, technical sulfate pulp was obtained, the total yield of deciduous pulp was determined, the amount of the amount of undercooked pulp in the obtained pulp, and the pulp was analyzed for the content of residual lignin and extractives. Studies have shown that the addition of Dispersol brand surfactants to sulfate cooking solution has little effect on the yield of pulp and the content of residual lignin. The amount of undercooked pulp content of the obtained pulp, when surface-active substances of the Dispersol PCS 306 brand are added to the

cooking solution, is reduced by 14% compared to cooking without additives. At the same time, the use of additives of surfactants in the cooking solution for sulfate cooking of hardwood makes it possible to reduce the content of extractives in the resulting pulp by 2-6 times. The presence of these surfactants in the cooking solution reduces the surface tension of the spent black liquor by 5-6%, but their low cooking consumption should not significantly affect the operation of the evaporators.

Key words: hardwood, sulfate cooking, surfactants, surface tension, cellulose, extractive substances.

КОВАЛЕВА Ольга Петровна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

KOVALEVA Olga P. – PhD (Technical), Associate Professor of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru

АЛЕКСЕЕВ Сергей Романович – ведущий специалист по технической поддержке ООО «Н.С.Р. Биокемикал»,

187420, ул. Мира, д. 1, г. Сясьстрой, Ленинградская область, Россия. E-mail: biochemical@inbox.ru

ALEKSEEV Sergey R. – Leading Specialist in technical support LLC «N.S.R. Biokemical»,

187420. Mira str. 1. Syasstroy. Leningrad Region. Russia. E-mail: biochemical@inbox.ru

ПЕТРУНИЧЕВ Олег Викторович – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

PETRUNICHEV Oleg V. – student of the St.Petersburg State Forest Technical University,

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru