

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»

На правах рукописи

РЫБНИКОВ ОЛЕГ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ ОФИСНОЙ БУМАГИ
ИЗ ЧАСТИЧНО БЕЛЁНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства
и переработки древесины»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
Аким Эдуард Львович

Санкт-Петербург 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Аналитический обзор литературы.....	9
1.1 Технология производства офисной бумаги.....	9
1.2 Офисные виды бумаги и особенности их производства.....	12
1.1.1 Поверхностная проклейка как важнейшая стадия производства офисной бумаги.....	19
1.1.2 Прогноз развития рынков офисных видов бумаг, оценка основных факторов влияния на спрос и потребление	26
1.1.3 Полуфабрикаты и сырье, используемые для производства офисных и офсетных бумаг	28
1.1.4 Так ли на самом деле важна белизна офисной бумаги?.....	31
1.1.5 Ситуация с рынком офисных бумаг в России.....	33
1.1.6 Основные производители офисной бумаги в России.....	34
1.1.7 Выводы из обзора по офисным видам бумаги.....	35
1.2 Биорефайнинг осины и других видов тополей. Специфические особенности осины (тополя дрожащего) как одной из самых перспективных пород в мировом лесном комплексе	39
1.2.1 Тополь в Китае и его возможное влияние на мировой лесной комплекс.....	45
1.2.2 Лесные ресурсы Китая и его политика лесных плантаций	52
1.2.3 Китайский опыт и европейские плантации тополя в наши дни.....	63
1.2.4 Опыт и перспективы использования на Светогорском ЦБК осинового древесины при производстве картона и бумаги	73
1.2.5 Получение технологической щепы из балансовой древесины осины, зараженной гнилью.....	81
1.3 Высокодисперсные минеральные наполнители для бумаги, способы их получения (GCC и PCC) и их влияние на свойства бумаги.....	86
1.4 Выводы по литературному обзору и постановка цели и задач исследований.....	88
2 Методическая часть	89
2.1 Объекты исследования.....	89

2.2	Пилотная варочная установка кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ.....	92
2.3	Анализ морфологии волокон на компьютеризированной установке Морфи-Компакт	95
2.4	Методы оценки качества офисной бумаги	99
2.4.1	Физические параметры офисной бумаги.....	99
2.4.2	Оптические характеристики бумаги	104
2.4.3	Дополнительные параметры для бумаги, используемой для струйных принтеров	111
3	Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной целлюлозы, осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях изменения критериев оптимизации (минимизация сроков – максимальная загрузка всех технологических потоков) 113	
3.1	Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно-бумажного комбината Светогорского ЦБК.....	113
3.2	Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки как путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия.....	128
3.3	Технология производства белёной химико-термомеханической массы (БХТММ)	149
3.4	Отбелка целлюлозы и древесной массы	156
3.5	Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы, осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях критерия оптимизации «минимизация сроков реализации». Синтез и анализ технологических схем при отказе от использования хвойной целлюлозы.....	163
3.6	Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной целлюлозы, осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях критерия оптимизации - максимальная загрузка всех технологических потоков. Синтез и анализ технологических схем с использованием и частично белёной хвойной целлюлозы.....	165
4	Экспериментальная часть	166
4.1	Разработка технологии офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы из смеси березовой и осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя	168
4.1.1	Исследование влияния варки смеси берёзовой и осинового щепы на морфологическую структуру и водоудержание волокна	168

4.1.2 К вопросу о роли мелочи и наполнителя при формировании структуры бумажного полотна и в проблемах удержания наполнителя при отливе бумажного полотна.....	175
4.2 Опытнo-промышленные выработки офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины, осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя) и её промышленная технология.....	175
4.2.1 Опытнo-промышленные выработки офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы.....	180
4.2.2 Промышленная технология офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины), осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя для бумаги (РСС)	187
4.2.3 Основные изменения технологии на стадиях «ВАРКА-КЩО-ОТБЕЛКА»	188
4.2.4 Статистический анализ качества бумаги ЭЖО из частично беленой целлюлозы (объём выработки 50 000 т)	197
4.3 Промышленная технология офисной бумаги из частично белёной хвойной целлюлозы, частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины), осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя (РСС).....	208
4.4 Предварительный анализ изменения карбонового следа предприятия в условиях перехода на производство офисной бумаги из частично белёной целлюлозы.....	217
4.4.1 Пути снижения углеродного следа.....	215
Заключение	222
Выводы	227
Список сокращений	228
Библиографический список.....	230
Приложения	246

Введение

Актуальность темы

Офисная бумага представляет собой высокотехнологичные целлюлозные композиты информационного назначения с достаточно сложной структурой и довольно высокой ценой. Этот вид бумаги, хотя и не занимает большой доли в общемировом производстве бумаги и картона [1-5], но касается жизни практически каждого человека, как владеющего персональным компьютером и принтером, так и не имеющего этой техники. В России в 2020 году объем потребления офисной бумаги составил 464 тыс. т, (3,3 кг/год на человека). На Светогорском ЦБК (40 % общероссийского объема) офисная бумага производится на бумагоделательной машине БДМ № 4 (свыше 1000 т в сутки под брендами «SvetoCopy» и «Ballet»).

В начале 2022 г. в связи с санкционной политикой ряда стран некоторые иностранные производители объявили о приостановке поставок химикатов, в том числе используемых для отбеливания целлюлозы. Базируясь на ранее проведенных Светогорским ЦБК и кафедрой Технологии целлюлозы и композиционных материалов (ТЦКМ) совместных научно-исследовательских работах по биорефайнингу осины и поэтапной эколого-технологической реконструкции ЦБК, в кратчайшие сроки был решен ряд сложных технологических задач и запущено производство нового вида офисной бумаги — бумаги ЭКО с использованием частично белёной лиственной целлюлозы, осиновой белёной химико-термомеханической массы (БХТММ), без использования хвойной целлюлозы. В 2023 году была разработана и бумага ЭКО2, включающая в свой состав и частично белёную хвойную целлюлозу, прошедшую перекисную отбеливку и аэрофонтанную сушку на линии БХТММ.

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Создание новых видов биоразлагаемой упаковки на предприятиях ЦБП» по программе «Приоритет 2030».

Цель работы

Целью данной диссертации является разработка технологии нового вида офисной бумаги — бумаги ЭКО, с использованием частично белёной целлюлозы, осиновой БХТММ и минеральных наполнителей.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Достигнуть необходимой и достаточной белизны офисной бумаги из смеси частично белёной, без использования хлорсодержащих отбеливающих химикатов, целлюлозы, БХТММ и осаждённого карбоната кальция (PCC), и управлять целевым параметром белизны без использования оптического отбеливателя;

2. Оценить пути достижения достаточных прочностных свойств офисной бумаги, производимой без хвойного волокна, и определить оптимальные расходы химикатов и параметры технологических процессов варки, отбели, размола, подготовки массы, формования и обезвоживания бумаги;

3. Исследовать влияние процесса варки, отбели, размола, подготовки массы на морфологические свойства волокнистых полуфабрикатов, используемых для производства бумаги ЭКО для оптимизации процесса производства офисной бумаги без белёной хвойной целлюлозы;

4. Совместить во времени теоретические и экспериментальные исследования в лаборатории, на пилотной установке и в промышленных условиях, провести опытно-промышленные выработки и осуществить перевод БДМ на серийное производство нового вида офисной бумаги ЭКО, с соответствующим дополнением действующих стандартов;

5. Проанализировать изменение влияния на окружающую среду и «углеродный след» при переходе к производству нового вида офисной бумаги ЭКО, оценить влияние новой технологии и готовой продукции на устойчивость развития бизнеса и достижение технологического суверенитета.

Научная новизна. Установлена возможность получения офисной бумаги ЭКО с необходимым и достаточным уровнем белизны - 65% по ISO, с использованием частично белёной по технологии TCF целлюлозы; тонкая

регулировка белизны при получении бумаги ЭКО может осуществляться дозировкой БХТММ и химически осажденного карбоната кальция (PCC), без использования оптических отбеливателей. Показано, что частично белёная по технологии TCF целлюлоза, не подвергавшаяся глубокой делигнификации при отбелке, но прошедшая углублённую делигнификацию при варке (до Каппа 10-12), имеет прочностные показатели, обеспечивающие требуемую жесткость бумаге и обладает электрокинетическими свойствами, аналогичными белёной целлюлозе ECF, применяемой при производстве белых видов офисной бумаги. Это позволяет использовать существующие системы проклейки и удержания, обеспечивает на БДМ4 неизменность «химии мокрой части» и возможность сохранения технологических режимов отлива и поверхностной проклейки при производстве всех видов офисной бумаги. Установлено, что при отбелке перекисью водорода хвойной целлюлозы удельный прирост белизны практически совпадает с аналогичным показателем при отбелке осиновой БХТММ.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования, результаты опытно-промышленной (март - ноябрь 2022г) и промышленных выработок (2023-2024гг.) позволили перевести БДМ №4 Светогорского ЦБК на серийное производство новых видов бумаги марок ЭКО и ЭКО2, с соответствующим дополнением действующих стандартов. В 2022 г. выпущено 100 тысяч тонн офисной бумаги марки ЭКО, а в 2023 - 50 тысяч тонн ЭКО2.

Методы исследования. В работе использованы современные методы исследования морфологии волокна, бумажной массы, разрушающие и неразрушающие методы исследования физико-механических, оптических и печатных свойств бумаги. Для совместной и отдельной варки осинового и березового щепы использовалась автоматизированная пилотная варочная установка кафедры ТЦКМ. Отличительной особенностью данной работы является проведение основного эксперимента в промышленных условиях на БДМ № 4 в г. Светогорск. При определении пригодности бумаги для использования в качестве офисной применялись высокоскоростные лазерные принтеры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Опытно-промышленная и промышленная технология офисной бумаги с необходимой и достаточной белизной ISO (60-65 %), достигаемой при

использовании частично белёной целлюлозы, белёной ХТММ и обладающего высокой белизной наполнителя – осажденного карбоната кальция РСС.

2. Переход при производстве офисной бумаги от отбелки ЕСФ к отбелке ТСФ.

3. Роль мелочи и наполнителя в формировании на бумагоделательной машине структуры офисной бумаги.

4. Расширение ассортимента офисной бумаги в Российской Федерации за счет новых видов с пониженным «углеродным следом».

Апробация работы. Результаты работы были представлены на: VII межд. конф., посвященной памяти проф. В.И. Комарова «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», Архангельск, 2023 г.; межд. конф. ФАО ООН «Circularity concepts in the pulp and paper industry», Geneva, 2023 г; Биотопливном конгрессе, СПб, 2024 г.; II Всероссийской конф. «Экологические аспекты современных технологий в химико-лесном комплексе», Архангельск, 2024.

Достоверность научных результатов диссертационной работы подтверждается использованием совокупности современных методов исследования, математической обработкой результатов опытно-промышленной выработки и данными промышленного производства Светогорского ЦБК в 2022 – 2024 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 7 статей в изданиях, входящих в перечень, утвержденный ВАК РФ, 1 патент РФ.

Личный вклад автора заключается в определении цели и задач работы, постановке и проведении экспериментальной работы, опытно-промышленных и промышленных выработок, обработке и обобщении результатов, формулировке выводов, написании и подготовке к публикации статей, оформлении патента.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, библиографического списка и приложения. Диссертация изложена на 254 страницах машинописного текста и содержит 79 рисунков, 30 таблиц, 127 наименований использованных источников литературы.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Технология производства офисной бумаги

Целлюлозно-бумажная промышленность мира стала одной из наиболее глобализованных отраслей, при этом около четверти мирового объема производства бумага и картона приходится на Китай (Таблица 1.1). И хотя на упаковочные виды бумаги и картона приходится свыше половины общего производства всех видов бумаги и картона, офисная бумага, родившаяся по сути дела лишь четверть века назад, заняла очень значимую роль в жизни как человечества, так и каждого человека.

Таблица 1.1 – Производство бумаги и картона в мире (млн. т/г) и ведущих странах мира в 2010 – 2021 гг. [6, 7]

Страна \ Год	2010	2015	2020	2021	2021/2010
Мир	394,006	406,706	404,999	423,419	1,075
Китай	92,720	108,108	109,903	115,524	1,246
ЕС-27	90,145	87,035	81,849	86,913	0,964
США	75,877	72,603	67,851	69,131	0,911
Япония	27,364	26,228	22,887	23,953	0,875
Индия	9,223	11,236	15,008	16,319	1,838
Индонезия	9,919	10,881	12,951	12,647	1,275
Ю. Корея	11,105	11,602	11,328	11,595	1,044
Бразилия	9,978	10,453	10,348	10,771	1,079
Россия	7,582	8,061	9,489	10,086	1,330
Канада	12,790	10,328	8,580	8,671	0,678

Интегрированные комбинаты в России, построенные по технологии от щепы до напорного ящика БДМ, позволяют достигать минимальной себестоимости и эффективно управлять качеством готовой продукции. В этом

отношении Светогорск — не только сложный интегрированный ЦБК, но и предприятие, все годы своего существования осуществлявшее и экспериментальные функции.

Так, впервые на нем была осуществлена в промышленных масштабах кислородно-щелочная обработка целлюлозы (КЩО), являющаяся основой бесхлорной отбели целлюлозы во всем мире. Производство инновационных продуктов в промышленных масштабах: многослойной бумаги для слоистых пластиков с направленным разделением функций слоев, а также картона для жидких пищевых продуктов впервые в стране было осуществлено в Светогорске.

Здесь впервые было осуществлено применение при производстве высококачественных видов бумаги полуфабрикатов высокого выхода, в частности блененой химико-термомеханической массы (БХТММ), обеспечившее использование малоценных и сорных пород древесины для производства высокотехнологичных, инновационных видов продукции с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, на ЦБК была реально проведена интеграция мирового и отечественного опыта разработки и реализации самых современных технологий, и продолжения взаимодействия с отечественными университетами для научного и кадрового обеспечения решения технологических и экологических проблем. Именно это позволило Светогорскому ЦБК (Рисунок 1.1), когда возникла острая необходимость и появилось «окно возможностей» за несколько недель решить проблемы перехода от использования белёной целлюлозы к применению частично

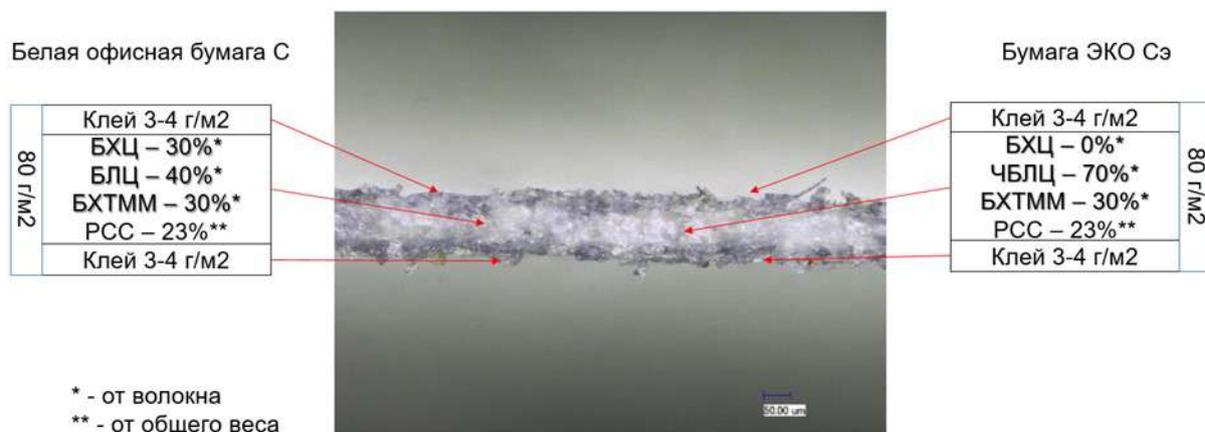


Рисунок 1.1 – Структура офисной бумаги марки С и ЭКО

белёной целлюлозы. В начале 2022 г. в связи с санкционной политикой ряда стран некоторые иностранные производители объявили о приостановке поставок химикатов, используемых для отбеливания целлюлозы, базирующейся на использовании двуокиси хлора (Elemental Chlorine Free - ECF). Это привело к возникновению проблем, связанных с производством белой целлюлозы и, как следствие, с производством белых видов офисной бумаги. Поскольку Светогорский ЦБК является системообразующим предприятием, а офисная бумага является важнейшей частью информационно-коммуникационных технологий, то под угрозу были поставлены жизнеобеспечение города, его жителей и все программы цифровизации РФ, включая проведение весной 2022 года Единого Государственного экзамена - ЕГЭ и за курс основного общего образования – ОГЭ.

Спецификой Светогорского ЦБК является наличие производства БХТММ, при производстве которой в стоки переходят низкомолекулярные фрагменты продуктов механо-деструкции природного лигнина, являющегося не токсичной частью природного карбонового цикла, но определяемого при использованных методах как «лигнин» через «лигносульфоновые кислоты». Учитывая, что в зависимости от вида продукции, выпускаемой на производстве БХТММ существенно меняется вклад данного производства при определении общего показателя ХПК, а при производстве так называемых «тяжелых марок» — белой ХТММ из осины с выходом 85 % — доля производства этой продукции намного выше, чем при производстве «легких» марок — хвойной не белой ХТММ с выходом 93 %. С учетом принципиальной значимости вопроса участия природного лигнина в природном карбоновом цикле ВШТЭ осенью 2022 вынесло этот вопрос на заседание Научного Совета по лесу РАН.

Офисная бумага (Рисунок 1.1) — это высокотехнологичный продукт, имеющий большое количество свойств, необходимых для выполнения бумагой своих функций. Каждый производитель имеет свои «know-how»; более того многие глобальные производители принтеров, как Xerox, HP, Canon, создали свои

системы сертификации производителей и имеют запатентованные технологии, улучшающие цветопередачу на отпечатке, например, технология Color Lock - добавки на основе CaCl_2 в поверхностный крахмал (ниже будет показано, что кафедра ТЦКМ Университета за десятилетия до этого запатентовала применение CaCl_2 при печати книг для слепых и слабовидящих).

Современная производственная линия для офисной бумаги сегодня это высокий уровень автоматизации, большое количество систем контроля качества в режиме реального времени, включая «автоматические лаборантки» для отбора проб и автоматического их анализа. Такие производственные системы требуют специального технического обслуживания, наличие продвинутых систем надежности, диагностики и конечно высококвалифицированного персонала.

Глобализация не обошла стороной и ЦБП — сегодня на рынке присутствуют в основном специализированные компании, поставляющие технологии, оборудование, запасные части, химикаты. С одной стороны, это стимулирует быстрое распространение лучших технологий, с другой — создало серьёзные проблемы возможности импортозамещения в кризисных ситуациях. Таким образом, офисную бумагу следует рассматривать как сложный композитный материал, состоящий из различных компонентов, соединенных по определенной технологии в определенной композиции в готовый продукт, который должен обладать большим количеством определённых свойств — физических, оптических, потребительских, эргономических, экологических и т. д.

1.2 Офисные виды бумаги и особенности их производства [6]

Понятие об офисных видах бумаги появилось в конце XX – начале XXI века с появлением персональных компьютеров и принтеров к ним. Необходимость сохранять полученные результаты работы на бумаге возникла с появлением первого электронного компьютера в 50-х годах прошлого века. До этого машинистки сидели за печатными машинками и печатали получаемую информацию. В результате пришла идея подключить печатные машинки к

компьютеру. И в 1953 году корпорация Remington-Rand создала первое печатающее устройство для компьютера UNIPRINTER. Он печатал 600 строк в минуту (по 130 знаков на строку). Этот аппарат напоминал свой прототип – печатную машинку. Принцип работы первых принтеров был точно такой же, но основной деталью UNIPRINTER был похожий на ромашку диск, который вращался параллельно листу бумаги, находясь между ним и ударным механизмом. Такие устройства получили название «лепестковые принтеры». Такие устройства производили и в Советском Союзе под названием АЦПУ — алфавитно-цифровые печатающие устройства.

Затем были созданы **матричные принтеры** (Dot Matrix Printer). В них символы формируются из набора точек. Матричные принтеры имеют печатную головку, в которой размещен набор иголок, которые ударяют по бумаге через красящую ленту, таким образом из точек формируется изображение.

Первым по-настоящему домашним матричным принтером стал принтер ImageWriter от фирмы С.Itoh Electronics, разработанный еще в 1976 году, но поступивший в продажу вместе с компьютерами Apple в 1983 году. Эта технология дошла, почти не изменившись, до наших дней — в магазинах на этом принципе печатают кассовые чеки. Несмотря на экономичность и надежность, у матричных принтеров есть недостатки с шумом, скоростью и качеством печати.

Затем появилась технология **струйной печати**. Она хотя и разрабатывалась параллельно с лепестковой и матричной, но потребовалось почти четверть века, пока в мире появились действительно нормально функционирующие струйные принтеры. С начала 70-х по середину 80-х годов прошлого века инженерами таких ведущих компаний, как Epson, Brother, Canon и Hewlett-Packard были изобретены три основных метода струйной печати, различающихся способом вывода краски на бумагу: пьезоэлектрический метод (используется компаниями Epson и Brother), метод газовых пузырей (Canon) и метод drop-on-demand (Hewlett-Packard). Во всех устройствах используется резервуар с краской, на дне которого есть маленькое отверстие (сопло).

При пьезоэлектрическом методе печати в сопло установлен плоский пьезокристалл, связанный с диафрагмой, при подаче тока на пьезокристалл, он выгибается и давит на диафрагму — в результате формируется капелька, которая выталкивается на бумагу. В методе газовых пузырей вместо пьезокристалла используется нагревательный элемент, который разогревает чернила в сопле до температуры 300-500 °С, в результате чего образуются пузырьки газа, выталкивающие краску на бумагу.

В начале 90-х годов прошлого века фирма Hewlett-Packard получила патент на цветную струйную печать. Они придумали смешивать три цвета (голубой (cyan), пурпурный (magenta) и желтый (yellow)) друг с другом, таким образом получая любой оттенок. В результате струйные принтеры первыми появились рядом с персональными компьютерами.

В 2020 году по всему миру было продано 58,55 млн. струйных принтеров, что на 2,9 % больше показателя годичной давности. Практически весь (99,8 %) рынок струйных принтеров контролирует четверка крупнейших производителей: HP Inc., Canon, Epson и Brother Industries. Первый из них по итогам 2020 года записал в актив 43,1 % продаж оборудования в натуральном выражении, что на 1,9 процентного пункта больше, чем годом ранее. Доля Canon в годовом исчислении увеличилась на 0,9 процентного пункта и составила 27,5%. У Epson и Brother показатели присутствия снизились до 25,7 % и 3,5 % соответственно.

В настоящее время лидирующее место занимает лазерная печать.

Печать на бумагу с помощью лазерного принтера проходит в несколько этапов: зарядка фотобарабана; засвечивание; нанесение тонера на фотобарабан; перенос тонера на бумагу; фиксирование изображения; очистка фотобарабана.

В основе технологии лазерной печати лежит принцип электрографического метода печати. Именно он до сих пор используется во всех современных лазерных принтерах и копировальных аппаратах. Принцип заключается в следующем: на алюминиевую трубку (фотобарабан), покрытую светочувствительным слоем, наносится отрицательный статический заряд. Луч

лазера проходит по фотобарабану, и снимает часть заряда в том месте, где нужно что-то напечатать. Затем фотобарабан в тех местах, где лазерный луч снял заряд, покрывается тонким слоем тонера (сухой пылевидной краской). После этого барабан прокатывается по бумаге (имеющей положительный заряд) и оставляет на ней весь тонер, а затем бумага попадает в зону нагрева, где под воздействием высокой температуры тонер припекается к бумаге. Для печати цветного изображения все цвета на барабан наносятся по очереди (для печати черного, голубого, пурпурного и желтого цветов).

В 2021 году на российский рынок поступило 2,3 млн. устройств печати, что на 14,4 % меньше, чем годом ранее. По итогам 2021 года производители отгрузили в РФ около 1,64 млн. лазерной печатающей техники, включая 1 млн. многофункциональных устройств (МФУ). В сегменте струйного оборудования годовые продажи превысили 662 тыс. штук, включая 560 тыс. единиц МФУ.

Тонер для картриджа — это основное красящее вещество, используемое в лазерных принтерах [19-21]. В основе тонера — полимерный легкоплавкий порошок с металлическим покрытием. Тонер используется не только в принтерах, но и в копировальных аппаратах, и в многофункциональных печатных устройствах на основе лазерной технологии. В центре каждой гранулы тонера — парафиновое ядро, которое предотвращает прилипание отпечатка к валикам. Ядро покрыто полимерной оболочкой, в основе которой — полиэфир и стирол-акриловые полимеры. Оболочка нужна для транспортировки пигмента и соединения красителя с бумагой. Также в ее состав добавляют: пигменты для окрашивания тонера в нужный цвет; добавки, позволяющие приобретать положительный или отрицательный заряд; частицы оксида железа, обеспечивающие магнитные свойства тонера; модификаторы, которые нужны для термического закрепления красящего состава на бумаге. Чтобы частицы тонера не слипались между собой, в состав гранул входят поверхностные добавки, обволакивающие полимерную оболочку и повышающие смазывающие способности. Размер частицы тонера составляет 3–4 мкм (Рисунок 1.2) [19].

В основе технологии лазерной печати лежит принцип электрографического метода печати. Именно он до сих пор используется во всех современных лазерных принтерах и копировальных аппаратах. Принцип заключается в следующем: на алюминиевую трубку (фотобарабан), покрытую светочувствительным слоем, наносится отрицательный статический заряд. Луч лазера проходит по фотобарабану, и снимает часть заряда в том месте, где нужно что-то напечатать. Затем фотобарабан в тех местах, где лазерный луч снял заряд покрывается тонким слоем тонера (сухой пылевидной краской). После этого барабан прокатывается по бумаге (имеющей положительный заряд) и оставляет на ней весь тонер, а затем бумага попадает в зону нагрева, где под воздействием высокой температуры тонер припекается к бумаге. Для печати цветного изображения все цвета на барабан наносятся по очереди (для печати черного, голубого, пурпурного и желтого цветов).

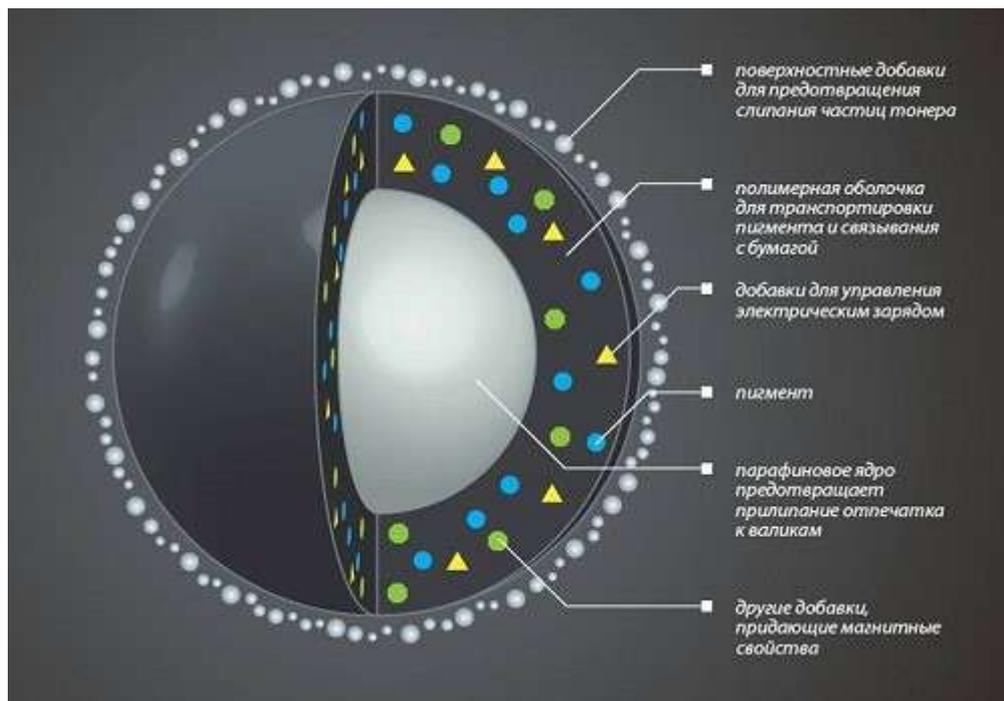


Рисунок 1.2 – Структура тонера и состав его частицы [19]

Состав химикатов в тонере и их массовое соотношение может быть различным [19-21].

Тонер состоит из микроскопических гранул. Гранула тонера состоит из ядра, полимерной оболочки и различных добавок. Ядро изготавливается из

парафина, который при нагревании во фьюзере принтера плавится и выполняет роль смазки, не позволяя листу бумаги прилипать к валикам фиксации. Полимерная оболочка – это своеобразный транспортёр для остальных частиц тонера. Она связывает их в единое целое, придаёт способность приобретать заряд и закрепляться на листе бумаги. В настоящее время при производстве тонера используют полиэстер и стирен-акриловые полимеры. Чтобы частицы тонера могли приобретать положительный или отрицательный заряд, к полимерной основе примешивается регулятор заряда (Charge Control Agent или ССА). Для придания тонеру отрицательного заряда используются азотные красители или органические кислоты, а для получения положительного заряда – нигрозиновые красители и четвертичные соли.

В состав тонера включаются частицы окиси железа (магнетида), которые обеспечивают его магнитные свойства. Для тонеров, используемых в однокомпонентных магнитных системах проявки, включение магнетида обязательно, так как он обеспечивает правильное функционирование системы. В однокомпонентных немагнитных системах проявки магнетид выполняет лишь одну функцию: снижает пыльность тонера. Поэтому его удельный вес в таких системах незначителен.

Для придания тонеру свойств, необходимых для его термического закрепления на бумаге, в состав микрогранул включают модификаторы. Модификаторы обеспечивают необходимую температуру размягчения тонера, придают изображению глянец. В качестве модификаторов могут быть использованы полипропилен, полиэтилен, воск или другие добавки.

Так как полимеры, используемые при производстве тонеров, бесцветны, к ним добавляются красящие пигменты. Для получения чёрного цвета в магнитные тонеры включается магнетид, а в немагнитные – сажа. Для получения цвета, отличного от чёрного, в полимеры включаются вкрапления красителей соответствующего цвета. Пигмент равномерно распределяется по поверхности каждой частицы тонера. Его масса составляет не более 10 % от массы гранулы.

Чтобы тонер можно было без труда перенести на фотобарабан, он должен обладать электрическим зарядом и текучестью. Для достижения обозначенных свойств в тонере присутствуют поверхностные добавки (агенты) в виде полимеров или амфорного диоксида кремния.

На рисунке 1.3 представлено многократно увеличенное изображение гранулы тонера. На нём отчётливо видно округлое «тело» гранулы и вкраплённые в него добавки.

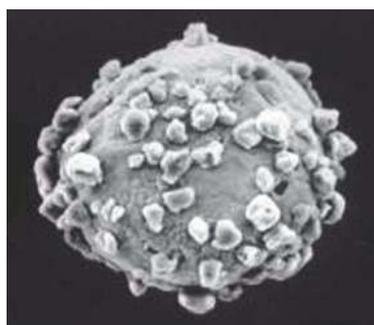


Рисунок 1.3 – Увеличенное изображение гранулы тонера

Средний размер гранул тонера составляет от 5 до 30 микрон. Чем мельче и однороднее гранулы, тем меньше их абразивное действие и тем выше разрешение, плотность и качество печати.

Таким образом, для офисной бумаги важнейшее значение имеют как поверхностные свойства, для обеспечения которых были созданы новые системы поверхностной проклейки, так и структурно-механические свойства. Они обеспечиваются прежде всего композицией бумаги, в том числе введением в бумагу большого количества высокодисперсного минерального наполнителя — РСС и GСС.

Создание производства офисной бумаги на Светогорском ЦБК в результате включает не только две основных стадии — собственно производство на БДМ бумаги для печати в офисах, включая поверхностную проклейку, прецизионную резку полученной бумаги и её упаковку на гибком автоматизированном производстве (ГАП), но и создание собственного производства БХТММ и РСС.

Именно такая реконструкция и была реализована в Светогорске после прихода туда компании International Paper.

1.1.1 Поверхностная проклейка как важнейшая стадия производства офисной бумаги

Поверхностная проклейка — улучшение качества печати за счет создания на поверхности клеевой пленки, которая улучшает печатные свойства, предотвращает растекание чернил, их излишнее впитывание и быстрое или медленное высыхание, улучшает цветопередачу и границу между цветами. Поверхностная проклейка бумаги с целью улучшения ее качества осуществляется в двухвальном клеильном прессе, встроенном между сушильной и досушивающей частями бумагоделательной машины. При поверхностной обработке бумаги на современных БДМ крахмальный клей подается на валы наносящей балкой с помощью стержня, создающего пленку на поверхности вала, а затем клей под воздействием давления в прессовом захвате переходит на бумажное полотно.

В качестве клея используется крахмальная суспензия, приготовленная из нативного (чаще зернового) крахмала варкой с использованием энзимов, и имеющая оптимальную вязкость и концентрацию, для нанесения клея на бумагу на двух вальном прессе со скоростью до 1270 м/мин, обычно 2–3 г/м² для офисной бумаги плотностью 80 г/м².



Рисунок 1.4 – Поверхностная проклейка бумаги

Поверхностная проклейка — необходимое условие технологии производства офисных бумаг, для того чтобы бумага могла воспринимать цветную краску принтеров и копировальных устройств. С началом внедрения технологии поверхностной проклейки композиционная структура белых бумаг приобрела следующий вид:

Печатная бумага	Белая офисная бумага	Эко офисная бумага
20% ХЦ/80% ЛЦ Зольность 6-8% (каолин)	Поверхностная проклейка 3-4 г/м ² 30% ХЦ/70% ЛЦ 0-30% БХТММ 23% РСС Поверхностная проклейка 3-4 г/м ²	Поверхностная проклейка 3-4 г/м ² 60% ЛЦ 40% БХТММ 21-22% РСС Поверхностная проклейка 3-4 г/м ²

Рисунок 1.5 – Отличия в композиции и структуре печатной и офисной бумаги

Прочная пленка на поверхностях бумаги (Рисунки 1.6 и 1.7) и армирующие, взаимопроникающие решетки волокон хвойной белёной, лиственной белёной целлюлозы и БХТММ (в случае с белой бумагой), и частично белёной лиственной целлюлозой и БХТММ (в случае с бумагой ЭКО), а также кристаллами

наполнителя, заполняющего пустоты и поры между волокнами — все это придает офисной бумаге уникальные свойства композиционного материала, обеспечивающие необходимую жесткость и гибкость для работы бумаги в высокоскоростных принтерах и копировальных аппаратах.

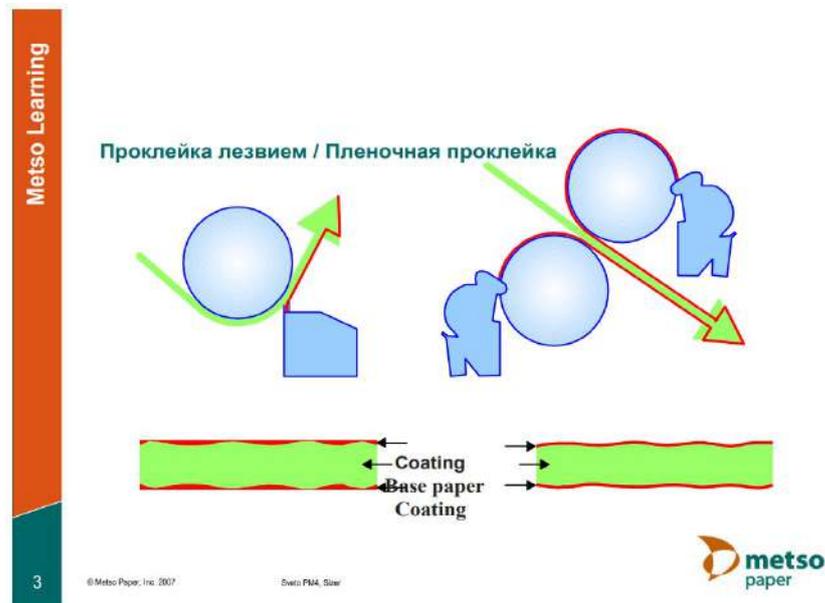


Рисунок 1.6 – Схема поверхностной проклейки на клеильном прессе [22]

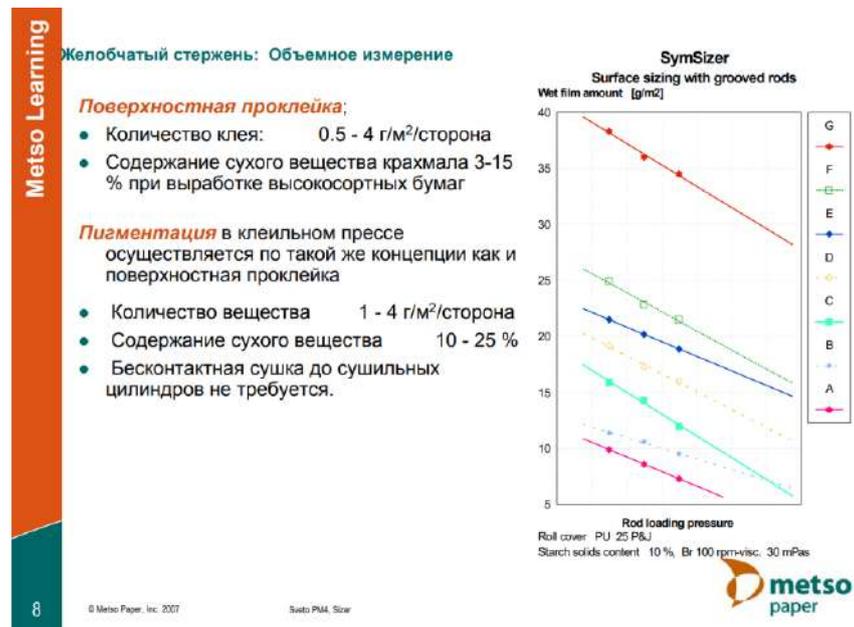


Рисунок 1.7 – Поверхностная проклейка лезвием [22]

На фото (Рисунок 1.8) — поперечный разрез проклеенного листа офисной бумаги (примерно 18 кг клея концентрацией 7 % на одну тонну бумаги) плотностью 80 г/м² и толщиной 104 мкм, на которой видна её структура.

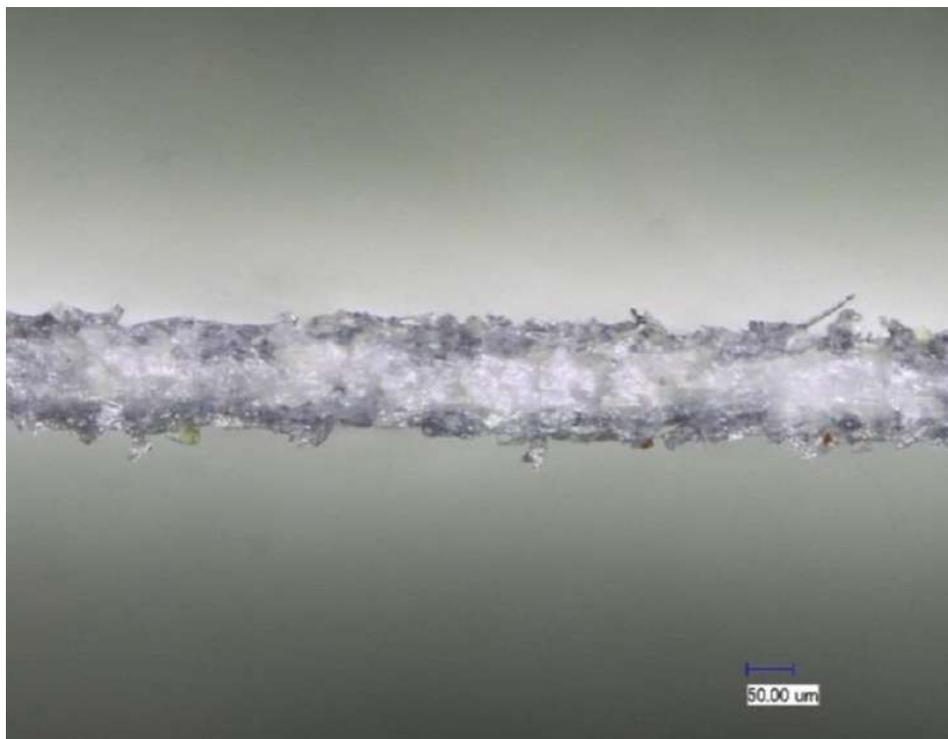


Рисунок 1.8 – Поперечный разрез проклеенного листа офисной бумаги

Изменяя концентрацию крахмального клея, можно добиваться разного уровня проникновения клея в структуру бумаги, проходящую через захват клеильного пресса. Определенную роль играет и то, что бумага проклеивается уже высушенной в основной сушильной части до влажности 2–3 %, что тоже останавливает проникновение клея во внутреннюю структуру бумаги.

Для точной регулировки белизны бумаги в клей подается оптический отбеливатель, а для ровного распределения пленки по поверхности бумаги и снижения образования статического электричества в клей так же добавляется коагулянт — CaCl_2 (Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).

Добавление коагулянта CaCl_2 (примерно 0,25 г/м² для белой бумаги и 0,5 г/м² для ЭКО) распределяет крахмал по поверхности, «запирает» пигменты краски, не давая им проникать вглубь. Без этой технологии бумага больше похожа

на губку, впитывающую черные и цветные пигменты глубоко в бумагу, а не на поверхность.

Сегодня эта технология является торговой маркой ColorLok® компании Hewlett Packard, и применяется всего лишь с 2008 года [23]. Но нужно отметить, что применение коагулянта для формирования на бумаге рельефа из полимерного вещества для производства бумажного полиграфического материала для слепых, было запатентовано еще в 1985 году, свидетельство SU 1659558A1 группой ученых Ленинградского технологического института ЦБП по руководством Э.Л. Акима [24].

Бумага ColorLok® обеспечивает более насыщенный черный цвет, насыщенные цвета и более быстрое высыхание. Технология также повышает пригодность бумаги к вторичной переработке, сокращает количество замятий бумаги и продлевает срок службы печатающих устройств при использовании с лазерными принтерами, обеспечивает более насыщенные цвета, более насыщенный черный цвет и более быстрое высыхание.

Когда чернила соприкасаются с поверхностью обычной бумаги, частицы пигмента впитываются вглубь пористого листа, тем самым снижая оптическую плотность (Рисунок 1.9).

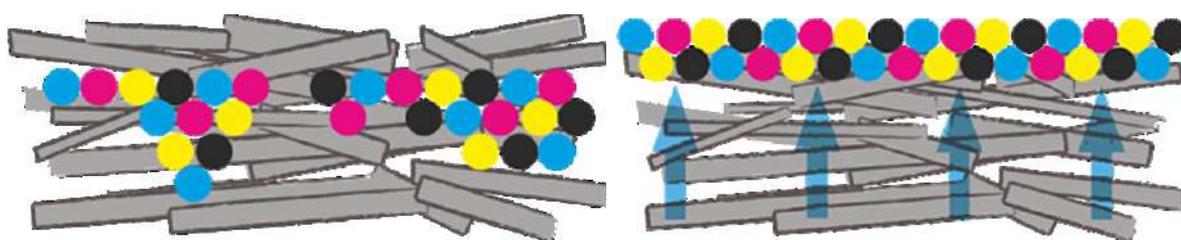


Рисунок 1.9 – Взаимодействие частиц цветных чернил с поверхностью обычной бумаги (слева) и при поверхностной проклейке с коагулянтном (справа)

Когда чернила соприкасаются с поверхностью обычной бумаги, они растекаются по волокнам бумаги, вызывая эффект «растушевки».

Благодаря технологии ColorLok растворитель чернил фиксируется на поверхности бумаги, не перенося частицы пигмента в бумагу.

Как видно из сопоставления двух изображений (Рисунки 1.10, 1.11), во втором случае цвет кажется более богатым, насыщенным и ярким, потому что частицы красителя чернил отделяются от носителя до того, как они впитаются в бумагу. Различие проявляется и при печати черного текста (Рисунки 1.11–1.13). На обычной бумаге черный текст кажется серым, потому что большая часть чернил глубоко впиталась в бумажное волокно, оставляя на поверхности меньшую интенсивность.



Рисунок 1.10 – Изображение розы на стандартной бумаге

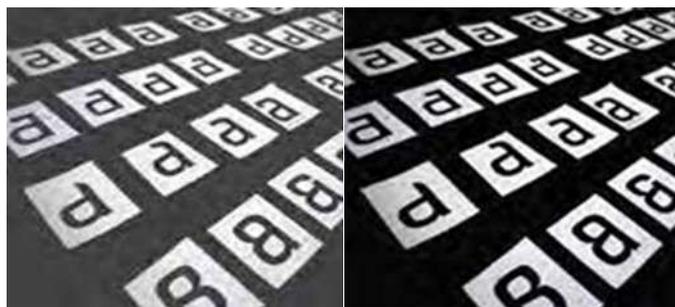


Рисунок 1.11 – Изображение черно-белого шрифта на стандартной бумаге (слева) и на бумаге ColorLok (справа)

Черные пигменты отделяются из чернильного носителя и остаются сконцентрированными на поверхности бумаги, что приводит к более насыщенному черному цвету с более четкими краями.

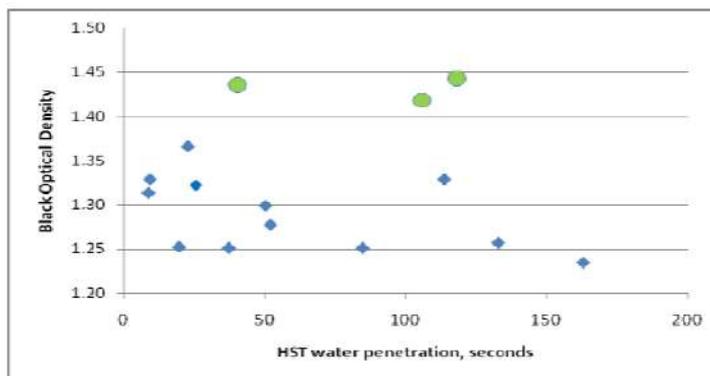


Figure 1. Sizing level (HST penetration time, seconds) vs Black Optical Density. ColorLok® paper brands are noted with green circles.

Рисунок 1.12 – Взаимосвязь оптической плотности и уровня проклейки стандартной бумаги (синие точки) и на бумаге ColorLok (зелёные точки)

Бумага показывает наилучший результат четкости границы черной линии.

Figure 4. Improvement from ColorLok^(R) treatment for line acuity



Figure 5. Micrograph of printed lines with different line acuity. Top: 10 um raggedness. Bottom: 15 um raggedness. Length of measurement bar is 0.5 mm

Рисунок 1.13 – Изображение черно-белых линий на стандартной бумаге и на бумаге ColorLok

На сегодняшний день технология фиксации клея на поверхности бумаги путем добавления коагулянта широко используется для печатных видов, включая бумаги из вторичного сырья [16]. Бумага, произведенная по этой технологии, имеет значительно большую оптическую плотность черного (зеленые точки) при одном уровне проклейки.

1.1.2 Прогноз развития рынков офисных видов бумаг, оценка основных факторов влияния на спрос и потребление

Спрос на офисные бумаги традиционно следует за ВВП и отражает кризисы, падения и взлеты потребления в последние десятилетия, и в последние несколько лет глобальный рынок испытывает не лучшие времена. Пандемия 2020–2021 годов явилась катализатором цифровизации, когда многие компании перевели сотрудников на удаленную работу и оцифровали документооборот насколько это возможно. В результате этого, в совокупности со снижением деловой активности бизнеса снижение спроса на офисную бумагу на более чем 3 млн. тонн в год (Рисунок 1.14).

Ожидается, что потребление на душу населения не восстановится и будет снижаться дальше до 1,7 кг до 2031 г. Использование офисных бумаг будет ограничено на развитых рынках резким сдвигом в сторону цифровых технологий во время пандемии, и эти технологии также ограничат потребление на душу населения в развивающихся странах до уровня Северной Америки и даже Европы.

Рост и экономическая экспансия будут основной движущей силой роста спроса в развивающихся регионах, но не дадут более интенсивного использования бумаги в кг на человека.



Рисунок 1.14 – Динамика спроса на офисную бумагу в мире (тыс. тонн)

Прогноз снижения потребления офисной бумаги в мире на человека до 2031 года ожидается в регионах (Рисунки 1.15, 1.16): Северная Америка — в 1,8 раза (4,9 кг); Европа — в 1,3 раза (3,6 кг); Океания — в 1,9 раза (2,7 кг); Африка — в 1,5 раза (0,4 кг); Азия/Дальний Восток — без изменений (1,5 кг) как и Латинская Америка (2 кг).

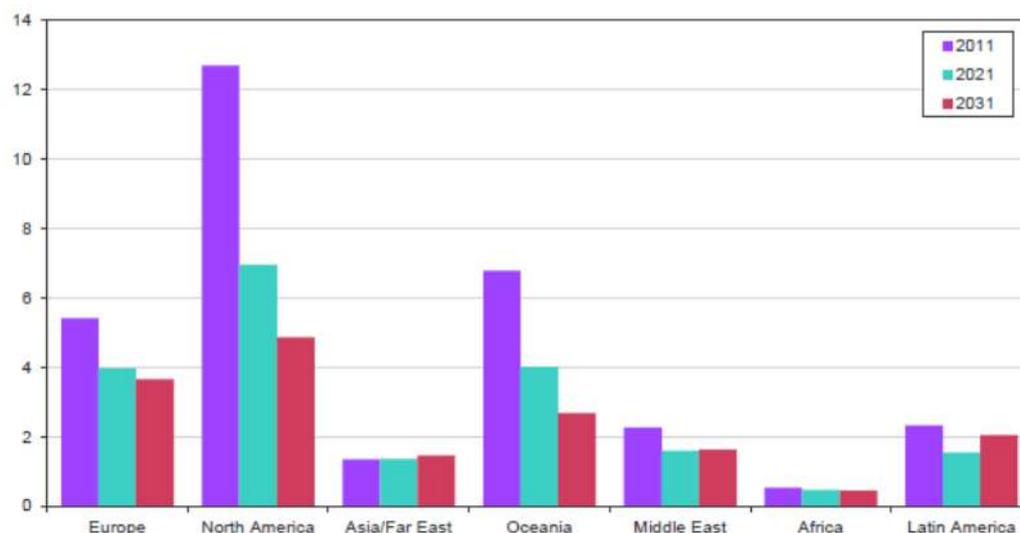


Рисунок 1.15 – Динамика потребления офисной бумаги по регионам (кг в год на человека)

Таким образом, спрос в мире на офисную бумагу на уровне 14 млн. тонн будет оставаться примерно на одном уровне только за счет роста населения в развивающихся странах в течение ближайших 10 лет.

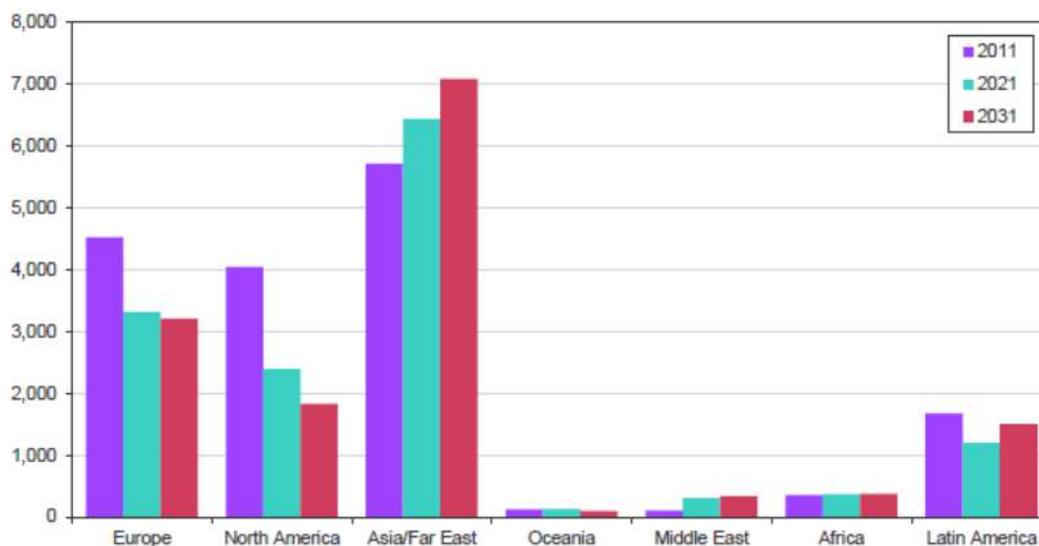


Рисунок 1.16 – Динамика производства офисных бумаг по регионам (тыс. тонн)

Немелованная офисная бумага может производиться из различных источников волокна и поэтому производится почти во всех регионах мира. В умеренных и северных районах офисная бумага производится из смеси волокон хвойных и лиственных пород, а в тропических регионах — из 100% эвкалипта или акации. Кроме этого, офисная бумага может производиться из бамбука, сахарного тростника, соломы и других волокнистых полуфабрикатов, а также из 100 % вторичного волокна [16].

Как результат, производство офисной бумаги обычно следует тенденциям регионального спроса.

1.1.3. Полуфабрикаты и сырье, используемые для производства офисных и офсетных бумаг

Падение или замедление спроса и расширение мощностей на некоторых рынках в совокупности стали очень привлекательны для экспорта офисных бумаг для многих производителей, тем более что офисная бумага проста в доставке и используется в стандартных сортах во всем мире. Необходимость к экспорту избыточных мощностей привела к жесткой конкуренции на многих рынках, которая в свою очередь привела к увеличению числа стран, вводящих ограничения на импорт или тарифы на импорт, включая США, Австралию, Турцию, Бразилию, Мексику и Индию.

Можно отметить несколько мировых производителей офисной бумаги, как правило, это глобальные производители, работающие во многих странах:

- **Sylvamo** (включая два завода IP, производящие продукцию для них) – самый известный производитель, с крупными производственными мощностями в Северной Америке, Европе, России и Южной Америке. На середину 2022 года произошла продажа актива в России (Светогорский ЦБК) местному инвестору. То же самое произошло и с активом Монди (Сыктывкарский ЛПК);

- Вторым по величине мировым производителем является **Asia Pulp&Paper (APP)** с объемом производства 1,8 млн тонн мощность и долей на

мировом рынке 10 %. APP принадлежит группе Paper Excellence, глобальной, базирующейся в Канаде компании по производству целлюлозы, которую приобрела Domtar в 2021 году. В совокупности эти две компании являются на сегодня крупнейшими в мире;

- Группа **Royal Golden Eagle (RGE)**, управляющая ресурсоемкими производствами, в том числе азиатскими производителями бумаги, компаниями APRIL и Asia Symbol. В совокупности эти компании занимают третье место в мире с 1,3 млн. тонн офисной бумаги, производимых на двух интегрированных комбинатах;

- **Mondi** является четвертым по величине производителем офисной бумаги мощностью 1,2 млн. тонн и долей мирового рынка 6,9 %. Большая часть этого объема производится в России и Африке, после продажи актива в России доля компании значительно уменьшится;

- **Domtar**, принадлежащий сегодня Paper Excellence, занимает пятое место с 1,1 млн. тонн мощности, все в Северной Америке и долей мирового рынка 6,1 %;

- **UPM** управляет заводами по производству офисных бумаг в Финляндии, Германии и Китае, 1,1 млн тонн;

- Компания **Navigator**, ранее известная как Portucel, замыкает семерку ведущих мировых производителей с 930 000 (девятьюстами тридцатью тысячами) тонн мощность и рыночной долей 5,3 %, с все производство расположено в Португалии. Низкий производственные затраты в Португалии позволили Navigator стать крупным мировым экспортером в Северную Америку, Африку и Ближний Восток;

- **Double A** недавно присоединился к группе глобальных производителей, купив и перезапустив завод Alizay во Франции, чтобы дополнить свои производства в Таиланде и Nippon Paper Group является владельцем единственного завода в Австралии.

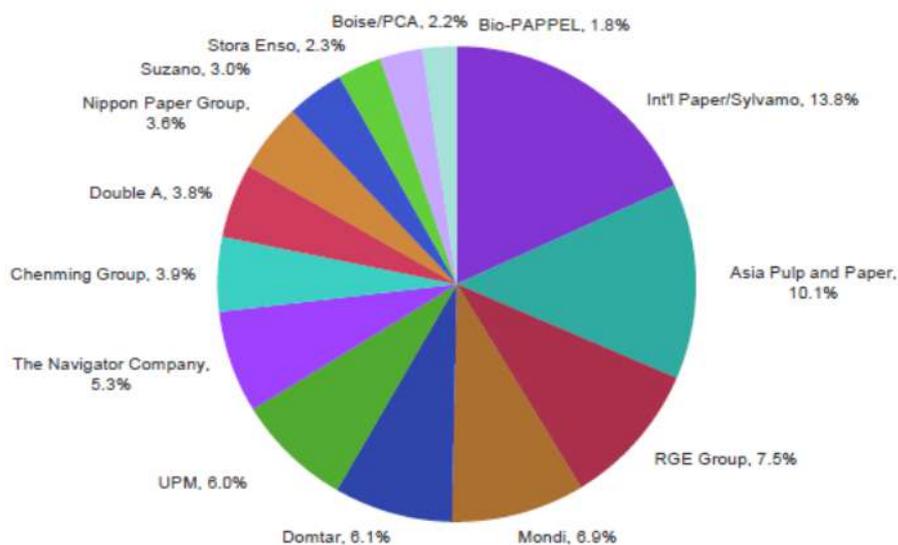


Рисунок 1.17 – Глобальные производители офисных бумаг

Несмотря на снижение мирового спроса и изъятие или перепрофилирование мощностей в развитых рынках, новые мощности все еще добавляются на рынках развивающихся, особенно на Ближнем и Дальнем Востоке. Часто эти новые мощности намного больше, чем может поглотить региональный рост спроса, поэтому они предназначены для нацеливания на все более конкурентоспособные мировые экспортные рынки.

Производители Северной Америки и Европы продолжают сокращать предложение в ответ на снижение спроса, и вполне вероятно, что очень большое количество устаревших мощностей в Азии будет вытеснено с рынка за счет запуска более современных машин. Тем не менее, в течение следующих пяти–десяти лет натиск новых проектов будет поддерживать глобальные операционные показатели сильно ниже исторических норм.

Рост цены на сырье и энергию для производства бумаги — еще один вызов, который может так же работать на сокращение потребления и процессы цифровизации. К 2030 году ожидается увеличение цены на офисную бумагу с 1000\$ за тонну до 1400\$, что очень оптимистично, т.к. летом уже 2022 года цена в Европе превысила 1200\$ за тонну. Кроме снижения спроса в мире и

цифровизации, негативное влияние на себестоимость продукции продолжит оказывать волатильность цен на лес и товарную целлюлозу, рост цен на энергоносители и транспортировку, значительный возраст заводов и инвестиции в их техническое перевооружение, экологическая повестка, обязательства по снижению выбросов парниковых газов, технологические и маркетинговые стереотипы, образование, пандемии, геополитика и многое другое...

Учитывая вышеперечисленные факторы, изменение технологии и производство офисной бумаги из частично белёной целлюлозы с сохранением всех ключевых свойств для работы в принтерах и множительных аппаратах может быть хорошим ответом без значительных инвестиций в оборудование и технологии.

1.1.4 Так ли на самом деле важна белизна офисной бумаги?

В течение десятилетий, с появлением доступных и безопасных методов отбеливания целлюлозы, сначала в Европе, Латинской, а затем и в Северной Америке, наметилась тенденция к повышению белизны документов, включая большой скачок, произошедший в 2005 году. До этого стандарт белизны для копировальной бумаги был 84 %, а с более высокой белизной производились более дорогие высококачественные бумаги. Тем не менее стандарт не был универсальным, и многие импортные бумаги из-за уровня яркости (94–96 %), продавались дороже, что давало им значительное маркетинговое преимущество. В 2000 г. только 1 % офисной бумаги отгружался белизной 94 % и выше, в то время как 18 % имело белизну 85–93, а 81 % — 84 % и ниже.

Уже к 2005 году доля бумаги стандартной белизны 84 % по ISO снизилась до 64 %, и компания International Paper объявила о переходе на новый стандарт белизны — 92 %. Это привело к тому, что буквально за несколько лет объем продукции нового стандарта 92 составил 83 %, 15 % — белизной 96 % и всего 1 % белизной 84 %.

Таблица 1.2 – Изменение белизны бумаги на рынке Северной Америки

	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Premium 94 brightness and above	1%	7%	13%	14%	15%	15%	15%	15%
84,5 to 93,9 brightness	18%	30%	85%	85%	84%	83%	83%	83%
Below 84,5 brightness	81%	63%	2%	1%	1%	1%	1%	1%

Скачок белизны офисной бумаги в Северной Америке, самом большом рынке в мире в то время, был обусловлен конкурентным давлением с рынков Азии и Латинской Америки, бумага белизной 82–84 % прекрасно справлялась с функцией офисной бумаги. Более высокое «качество» более белой бумаги — субъективная оценка и возможность получать лучший отпечаток на дешевых принтерах, экономя на затратах при обращении в профессиональный офис для копирования документов.



Рисунок 1.18 – Визуальное сравнение офисных бумаг — классической и ЭКО

1.1.5 Ситуация с рынком офисных бумаг в России

Россия сегодня имеет наибольший рынок офисных бумаг в развивающейся Европе, который потребила 464 тыс. тонн в 2020 году, почти 40 % от всего рынка. В начале 2000-х рынок рос в среднем более 9 % в год до глубокого кризиса в 2008 и 2009 годах. Падение рынка составило 16 % и потребовалось более 4-х лет на его восстановление. До 2014 года все выглядело прекрасно, но кризис 2014 года по разным причинам повлиял на экономическую ситуацию и активность бизнеса. Как следствие, до 2017 года спрос падал в среднем до 3 % в год, и только в этот год спрос стал расти вместе с ростом ВВП.

С началом пандемии, после введения большого количества ограничительных мер в Европейских странах, и России в том числе, падение спроса составило 16 % за один 2020 год. 2021 год был лучше, показав рост примерно в двое хуже, чем в допандемийный период. Учитывая кризис, в 2022 году ожидалось, что восстановления спроса на офисные бумаги в России до уровня 2019 года не произойдет в ближайшие 10 лет даже при самом благоприятном прогнозе. Тем не менее, Россия остается крупнейшим производителем офисной бумаги, практически с половиной производственной мощности в развивающемся регионе Европы. Более того, благодаря высокому уровню интеграции предприятий, доступной лесосырьевой базе и энергии российские производители имеют наименьшую себестоимость в регионе. Сыктывкар, Светогорск и Коряжма — основные производители офисной бумаги, и благодаря огромной локальной производственной базе Россия в теории может быть полностью самодостаточна. Тем не менее, потенциал экспорта офисных бумаг составляет 30–35% от максимально возможного объема производства. Основные рынки для экспорта — страны содружества, Турция, Китай и Европа после отмены санкций.

1.1.6 Основные производители офисной бумаги в России

Сыктывкар, Mondi имеет наименьшую себестоимость продукции в Mondi. БДМ 14, построенная в 1982 году, модернизированная в 2010-м, производит 350 тыс. тонн офисной бумаги в год. БДМ 11, модернизированная в 2006 году, производит 160 тыс. тонн белой бумаги, 10 % из которой — офисная. Mondi владеет сильными брендами Color Copy, IQ, Maestro, Niveus и Снегурочка для рынков России, Украины и Казахстана.

Светогорский ЦБК. БДМ 4 — родная сестра БДМ 14 в Сыктывкаре, построена в 1983 году, модернизирована в 2005-м и производит 380 тыс. тонн офисной бумаги в год. Самая производительная БДМ, выпускающая офисную бумагу в России. Светогорский ЦБК владеет брендами SvetoCopy и Ballet.

В Коряжме, «Группа «Илим» — БДМ 7, построена в 2013 году, производит разные виды бумаги, в том числе мелованные и упаковочные, производит 275 тыс. тонн в год, из которых офисной примерно 50 %.

В Светогорске производство листовых бумаг начали строить в 1998 году после прихода компании IP. Тогда сделали реконструкцию БДМ 4, установили клеильный пресс, тем самым решили все вопросы с качеством для выпуска офисных видов бумаг, а до этого времени на ЦБК работал только цех ширпотреба. На четвертой машине на отметке БДМ стояли листорезы, там делали резаную бумагу формата А4 — SvetoCopy.

И первый листорез, поставленный на ЦБК — это 14-карманный листорез, который резал по 400 тонн бумаги в день. То есть ЦБК примерно за полгода уже практически вышел на максимальную производительность. Тогда, в марте 1999 года, решили сделать мировой рекорд — и его сделали!

На 14-карманном листорезе выпустили 528 тонн готовой продукции. Полноценный выход на рынок офисных бумаг произошел практически в считанные месяцы, потому что тогда офисную бумагу в России не делал еще никто, в основном страна жила за счет импорта. Тогда ЦБК ориентировалось на Европу, потому что импорт был весь европейский. Сначала Светогорский ЦБК

произвёл марку «С», увидев, что на рынок продолжает идти импорт более высокой белизны марки «В». Считалось, чем белее бумага, тем она более высококачественная. Тогда и Светогорский ЦБК стал выпускать марку «В» — бумагу с более высокой белизной, другого сегмента качества. Таким образом, для полного портфолио у Светогорского ЦБК была марка «С» — это «SvetoCopy», и марка «В» — это был «Ballet Classic». Потом рынок сформировался, и клиентам захотелось расширения ассортимента бумаг. В ответ на эти запросы Светогорский ЦБК запустил «Ballet Premier» с еще более высоким уровнем белизны и качества.

Запуск производства листовых бумаг и бренда «Ballet» был очень важным, знаковым событием. Для Светогорского ЦБК и сейчас производство офисных бумаг имеет высокое значение, это то, что Светогорский ЦБК умеет делать очень хорошо. Необходимо продолжать популяризировать использование офисных бумаг, в том числе за счёт продвижения портфеля сильных брендов Светогорского ЦБК.

1.1.7 Выводы из обзора по офисным видам бумаги

Снижение потребления офисной бумаги на человека будет компенсировано ростом населения — спрос глобально в объеме как минимум останется, в лучшем случае будет расти в России и других развивающихся регионах, что позитивно для устойчивости бизнеса.

Интегрированные комбинаты в России, доступность сырья, низкая себестоимость позволят успешно конкурировать с импортом и экспортировать продукцию.

Необходимость выполнения требований НДТ для норм сбросов и выбросов, экспорта в Европейские страны и Азию, потребует особого внимания к вопросам ESG, в частности выполнения программы снижения выбросов парниковых газов, уменьшения «углеродного следа» и экологической сертификации готовой продукции.

Кроме вопросов бизнеса и экономики, российским компаниям придется решать ряд серьезных вопросов по импортозамещению уникального оборудования, запасных частей и химикатов, в частности, для производства диоксида (двуокиси) хлора, которые не производились в стране и для производства которых отсутствовали доступные технологии.

Потребуется разработать новые, альтернативные технологии производства офисной бумаги из доступных материалов, работать с формированием адекватного потребительского спроса.

В этой ситуации важность и актуальность темы разработки технологии производства офисной бумаги, в композиции которой используются частично белёные волокнистые материалы, очень высока и может быть хорошим ответом на вызовы для бизнеса без значительных инвестиций в оборудование и технологии.

Практически все мировые производители бумаги и картона являются частью глобального рынка продукции, сырья, технологий, экологических ограничений, человеческих ресурсов, и российские компании не являются исключением. В 2021 году ЦБП России экспортировала около 40 % своей продукции, получая из-за рубежа импортное оборудование, технологии и химикаты. Многие производители бумаги в РФ, находящиеся с логистической точки зрения в выгодном положении, на 90 % зависели от импорта и в этом был свой смысл — это было быстрее, качественнее и во многих случаях выгоднее. Зимой 2022 года из-за санкционной политики ряда стран прекратился импорт белых бумаг в РФ, а часть иностранных производителей заявила об прекращении своей деятельности на территории РФ и остановила поставки химикатов, в частности для производства отбеливающих реагентов для целлюлозы. В результате возник дефицит офисной бумаги, и в ситуации, близкой к панике, цены на офисную бумагу взлетели в 4–5 раз.

Интересно, что дефицит офисной бумаги на рынке в марте 2022 года оценивался в 15–20 тыс. тонн, но поскольку её запасы у производителей и

дистрибьюторов были очень низкие, а импорт полностью прекратился, ситуация сложилась очень серьезная. Перед производителями встала трудная задача — не остановить производство, в кратчайшие сроки найти альтернативные варианты производства или источники поставок, а перед дистрибьюторами — найти альтернативные источники офисной бумаги из дружественных стран. Нужно понимать, что практически все крупные ЦБК это градо- и системообразующие предприятия, от работы которых зависит благополучие тысяч людей — сотрудников, подрядчиков, клиентов, конечных пользователей. И, с учетом принципов эколого-социальной ответственности бизнеса (ESG, т.е. Environmental + Social + Governance, или экология + социальное развитие + корпоративное управление), останов градообразующего предприятия был невозможен.

Несмотря на постпандемийное падение спроса на белые бумаги в 2020–2021 годах, который оценивался в 16 %, многие конечные потребители (государственные органы, здравоохранение, образование) попали в не простые условия, так как весной в школах РФ проходят выпускные экзамены (ЕГЭ, т.е. Единый государственный экзамен, и Основной государственный экзамен за курс основного общего образования, т.е. ОГЭ). Потенциал цифровизации к началу 2022 года был практически исчерпан.

Таким образом, возникла необходимость разработки нового вида продукции и переориентации крупного ЦБК на его выпуск; проблема, для решения которой в обычных условиях требуется несколько лет — изучение рынка, разработка технологии, маркетинг и железная воля руководства компаний.

С другой стороны, уход иностранных владельцев открывал «окно возможностей»; до этого одним из принципов компании — владельца был принцип: «мы не экспериментальный полигон, мы сильны переносом опыта с передовых предприятий на остальные».

Однако проводившиеся на протяжении длительного времени совместные исследования кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов

ВШТЭ и Светогорского ЦБК в области биорефайнинга древесины и поэтапной эколого-технологической реконструкции интегрированного ЦБК позволили за короткий срок поставить на производство новые виды продукции.

Это позволило решить многие важные задачи:

- повышение конкурентоспособности и устойчивости целлюлозно-бумажной промышленности РФ за счет создания и совершенствования технологий, направленных на рациональное и эффективное использование природных и промышленных ресурсов и сохранение ценных пород древесины;
- снижение зависимости от импортных технологий и химикатов в условиях санкций и разрушения глобальных цепочек поставок;
- улучшение экологического профиля предприятий ЦБП — снижение потребления воды, энергии, выбросов парниковых газов, качества промышленных стоков;
- обеспечение устойчивости градо- и системообразующих предприятий.

Однако, по нашему мнению, обеспечение технологического суверенитета при производстве офисной бумаги далеко выходит за рамки решения проблем города Светогорска. Офисная бумага является важнейшей частью информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), которые справедливо относят к рынкам передового производства [25]. Под рынками передового производства понимаются рынки товаров традиционных и высокотехнологичных отраслей, в которых происходит улучшение существующих и/или создание новых материалов, изделий и процессов посредством внедрения достижений науки, техники, высокоточных и информационно-коммуникационных технологий, интегрированных с высокопроизводительной рабочей силой, инновационным бизнесом или организационными моделями. Рынки передового производства структурно более чем наполовину связаны с технологиями Индустрии 3.0 (ИКТ, электроника, оптоэлектроника), примерно треть — это Индустрия 4.0 (биотехнологии, науки о жизни, гибкое производство, аддитивное производство),

а остальное — это аэрокосмическая промышленность, современные материалы, вооружения, ядерные технологии [25].

Хотя при последующем совершенствовании технологии производства электронных носителей и изменении потребительских предпочтений есть все основания ожидать снижения доли офисной бумаги в объеме общемирового производства бумаги и картона, при сохранении или даже увеличении их общемирового производства. По данным RISI до 2031 г. ожидается изменение потребления офисной бумаги в мире в расчете на человека в различных регионах.

Бумага имеет еще одну важную социальную функцию: она способствует развитию образования, поддержанию общения между людьми и реализации творческих способностей. Бумага объединяет людей друг с другом и с окружающим миром, она способствует сохранению и развитию возобновляемых природных ресурсов.

1.2 Биорефайнинг осины и других видов тополей. Специфические особенности осины (тополя дрожащего) как одной из самых перспективных пород в мировом лесном комплексе

Проблемы биорефайнинга осины и других видов тополей, ряд их аспектов, связаны как с поэтапной эколого-технологической реконструкцией Светогорского интегрированного целлюлозно-бумажного комбината, так и с Проектом «Лиственница»¹.

Как известно [26, 27], лесные запасы России состоят на 58 % из лиственницы (сибирской и даурской) и сосны. В лесосырьевой базе ОАО «Группа «Илим» возможный ежегодный объем заготовки древесины лиственницы (сибирской и даурской) может составить свыше 1,3 млн. кубометров, а в целом по

¹ Проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)» осуществляется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России). Инициатором проекта «Лиственница» выступило ОАО «Группа «Илим» в партнерстве с Санкт-Петербургским государственным технологическим университетом растительных полимеров.

России — 105 млн. кубометров. Однако, наряду с сосной и лиственницей, в лесосырьевой базе, в естественных лесах содержатся и лиственные породы, прежде всего, осина и береза. Поэтому на практике при комплексной переработке древесного сырья всегда оказывается значительное количество и лиственных пород.

Тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), на практике именуемый осиной, является одной из основных лесообразующих древесных пород в России. Осина характеризуется быстрым ростом. Она образует высокополнотные чистые и смешанные древостой. Максимальный прирост древесины наступает в возрасте 45–50 лет и к этому времени её запас на гектаре достигает 250–300 пл. м³. К перестойным осиновым лесам относятся, как известно, деревья в возрасте более 50 лет, при этом разрешенный возраст рубки составляет 41 год. После вырубki осина успешно возобновляется вегетативным, при помощи корневых отпрысков, и семенным путём. Это позволяет осине удерживать занятые ею территории [28].

В России практически все ЛПК и ЦБК работают уже несколько десятилетий. При **естественном лесовосстановлении** после сплошных рубок восстановление леса начинается, как правило, с роста именно осины, и поэтому можно говорить о приспевающих осиновых лесах в регионах расположения этих предприятий. Поэтому проблема квалифицированного использования осины становится актуальной как для Сибири, так и для Северо-Запада России.

Как известно, в мире все шире используется плантационная древесина, прежде всего, произрастающая на плантациях ускоренного роста. По данным ФАО ООН, лесные плантации, занимая менее пяти процентов лесопокрытой площади Земли, уже дают свыше половины всего объема производимых лесных товаров. Плантации эвкалипта в Латинской Америке, в Юго-Восточной Азии стали устойчивым источником древесного сырья для ЦБП этих стран. В Китае плантации черного тополя (ближайший родственник осины, «тополя дрожащего») явились не только основой для фантастического развития фанерного

производства, но и уже в 2010 году давали ежегодно около 10 млн. кубометров древесного сырья для ЦБП [29].

Однако с учетом мировых тенденций, в настоящее время целесообразнее рассматривать не просто проблемы использования в ЦБП осины и других видов тополей, а анализировать всю совокупность проблем, связанных с биорефайнингом осины и других видов тополей, с конкурентоспособностью древесины из природных и плантационных лесов. Как известно, биорефайнинг — это комплексная глубокая химическая переработка древесины с превращением ее основных компонентов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью (как многотоннажные, так и малотоннажные). По аналогии с «нефтехимическим синтезом» можно говорить о «лесохимическом синтезе», с использованием всех достижений нефтехимии и лесохимии.

Биорефайнинг рассматривают как современное направление развития мирового лесного комплекса, одно из важнейших направлений как европейской, так и российской лесной технологической платформы. При реализации принципов биорефайнинга осуществляется перевод целлюлозно-бумажных предприятий, ориентированных на выпуск ограниченного набора продуктов в интегрированные многопрофильные предприятия, с широким спектром выпускаемой продукции.

В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с распространением осины и тополя, как в России, так и в мире, прежде всего, в Китае и в Европе; анализируются родственные связи, различия, возрастные изменения осины и тополя. Перспективно применение осины и тополя в лесном комплексе, в том числе в ЦБП, при производстве волокнистых полуфабрикатов (ВПФ) высокого выхода, разбираются с учетом сравнения технологий в России и в мире при производстве ВПФ из осины и тополя. Системный анализ последних литературных данных сопровождается и анализом собственных результатов экспериментальных исследований по сопоставлению морфологических

особенностей данных видов древесины и физико-механических свойств БХТММ из осины и тополя [30].

Сегодня в России площадь, занятая тополями, составляет примерно 19,75 млн. га с запасом древесины 2 614,81 млн. м³. В настоящее время осиновые древостои представлены более, чем на 40 % спелыми и перестойными насаждениями, которые на 80–90 % поражены гнилью. Не пораженные гнилью формы (клоны) в течение предшествующего столетия были вырублены при проведении рубок, так как здоровая древесина осины по ряду своих уникальных свойств не может быть заменена древесиной других пород [28–30].

В Российской Федерации, имеющей большие лесопокрытые площади и на них огромные запасы древесины для производства, например, ряда видов волокнистых полуфабрикатов, а также биотоплива, необходимо использовать, в первую очередь, спелые и перестойные осинники. Данное мероприятие, являясь источником древесного сырья, приведёт к улучшению санитарного состояния осинников и повышению качества древесины во вновь возобновляемых насаждениях.

В ряде лесодефицитных стран, таких как Франция, Турция, Германия, Италия, Польша и др. на сегодняшний день широко практикуется создание специальных плантаций быстрорастущих пород древесины — тополя и ивы (салекс). Подробный анализ состояния и перспектив плантационного выращивания тополя был представлен сотрудниками ФАО ООН А. Лебедасом и В. Коллертом в 2010 году, а затем обновлялся в 2014–2016 году и в 2024 году [29, 31, 32].

В таблице 1.3 приведены данные ФАО ООН по глобальным ареалам произрастания тополя (2007 г.).

Таблица 1.3 – Глобальные ареалы произрастания тополя (2007 г.)

	Мир (млн. га)	Китай (млн. га)	Доля Китая, %
Природные леса	71,079	3,060	4
Плантационные леса	5,393	4,347	81
Система агрофорестри	2,630	2,500	95
Всего	79,102	9,907	13

Из представленных данных видно, что для осины и других видов тополей в целом по миру 90 % приходится на природные леса, в то время как в Китае они составляют менее одной трети от общей площади. Однако Китай имеет площади плантационных лесов тополя в четыре раза больше, чем весь остальной мир, а тополя, выращенного по системе агрофорестри — в 20 раз больше всего остального мира. Площадь плантаций тополя в Китае в 5 раз превышает площади плантаций во всей Европе и в 18 раз превышает площади во Франции, занимающей лидирующее место в Европе. Развитие плантационного выращивания тополя в мире привело к росту его использования для производства древесно-стружечных и древесноволокнистых плит. Особый интерес, однако, представляет применение плантационною тополя для производства фанеры. Оно привело к изменению оценки стадий жизненного цикла для данного материала (фанеры).

Стремительный рост площадей плантаций тополя в Китае привел не только к количественному увеличению объемов его потребления, но и к качественному изменению структуры ряда лесных продуктов и технологий их производства. Так, за последние 10 лет производство фанеры в Китае возросло до 40 млн. м³, в то время как в остальном мире с 1980 года объемы производства фанеры не изменились. Более того, ряд аналитиков рассматривал фанеру как устаревший

материал, на смену которому пришли более современные плиты OSB. Приведенные на рисунке 3 данные показывают, насколько преждевременным оказалось такое утверждение.

В таблице 1.4 приведены данные по доле древесного сырья из тополя в лесоперерабатывающей отрасли ряда стран мира. Как видно из данных, представленных в таблице 1.4, в Китае на долю тополя в производстве фанеры и шпона приходится 60 %. ЦБП Китая ежегодно использовали уже в 2007 году около 10 млн. кубометров тополя (Рисунок 1.19); на его долю приходится 40 % древесного сырья, используемого в ЦБП.

Таблица 1.4 – Доля (%) древесного сырья из тополя в лесоперерабатывающей отрасли

	Пиломатериалы из лиственной древесины	Шпон и фанера	ДСП	Древесина для ЦБП
Италия	10	30	<5	0
Испания	10	50	<5	0
Германия	<5	5	<1	1
Румыния	10	<5	<1	15
Болгария	10	30	5	0
Хорватия	0	100	10	10
Бельгия	50	10	100	<1
Китай	10	60	30	40

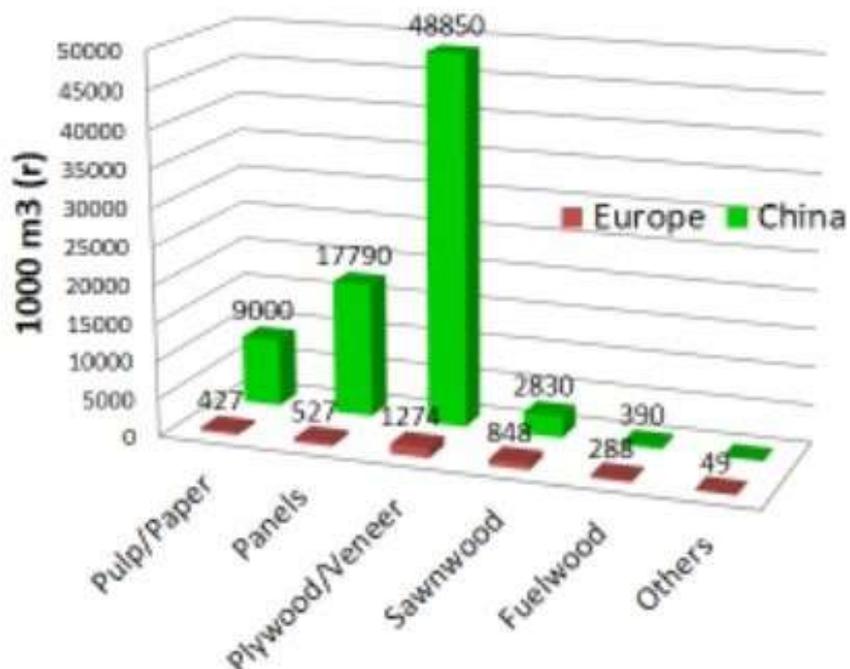


Рисунок 1.19 – Потребление тополя лесным сектором Китая

1.2.1 Тополь в Китае и его возможное влияние на мировой лесной комплекс

Важнейшим направлением применения древесины тополя в ЦБП является получение полуфабрикатов высокого выхода, в частности химико-термомеханической массы (ХТММ) и белой химико-термомеханической массы (БХТММ). Выход продукции при производстве ХТММ составляет 85–92 %. За последние годы в Китае построен ряд заводов по производству полуфабрикатов высокого выхода.

Данные, приведенные в таблице 1.4 и на рисунке 1.19 показывают, что Китай успешно осуществляет не только плантационное выращивание тополя, но и многоцелевое использование плантационной древесины, практически перейдя к биорефайнингу древесины тополя. Одним из примеров биорефайнинга является организация плантаций тополя в Китае, с использованием в качестве почвообразователя избыточного активного ила. Одна из таких плантаций расположена в пустыне Гоби. Общая площадь плантации составляет 230 тыс. га.

Территория разбита на «карты». «Карты» представляют из себя ровные площадки, обвалованные по периметру. В верхней части обваловки проложены оросительные каналы, с шиберами для пуска воды в «карту». В качестве почвы для посадки саженцев в первый год и при повторных посадках (после вырубки спелого леса) используется избыточный активный ил очистных сооружений двух целлюлозно-бумажных заводов. После первого года почва продолжает формироваться опавшей листвой и травой. Заводы расположены вдоль реки Хуанхэ (Желтая река) на расстоянии примерно в 12 км от плантации. Третьим элементом системы является каскад из трёх искусственных озёр, общей ёмкостью 6 млн. м³. Очищенные стоки с обоих производств закачиваются в верхнее озеро каскада. Из верхнего озера вода по трубопроводам, а затем по каналам, распределяется для орошения «карт» с растущими на них тополями. Избыток воды переливается во второе озеро, а оттуда в третье, по берегам которого строится зона отдыха. Очистные сооружения сточных вод обеспечивают очистку стоков, по качеству очистки не совсем отвечающих современным требованиям, однако вполне подходящих для нужд орошения плантаций. Ежегодное увеличение площади плантаций составляет примерно 1300 га. Расширение плантаций планируется до тех пор, когда установится баланс между потреблением воды заводами и потребностью плантации в орошающей воде. Тополь с плантаций используется в качестве сырья для производства БХТММ на этих же заводах и на других заводах компании. Возраст рубки 6 лет. За это время тополь успевает вырасти до диаметра ствола 15–20 см. На рисунках 5, 6 приведены фотографии этих плантаций.

Приведенные в таблице 1.4 и на рисунке 1.19 данные целесообразно сопоставить с данными по изменению роли Китая на мировых рынках лесных товаров [33–35]. Как известно, за последние 30 лет лесной сектор Китая претерпел фантастический рост. Выпуск лесных товаров в Китае за период с 2009 по 2010 год возрос на 29,3 %, а с 2010 по 2021 год — на 26 %. Всего лишь за пять лет более чем удвоилась стоимость производимых в Китае лесных товаров,

которая составила в 2010 году 300 млрд. долл. США. В 2005 году Китай стал ведущим производителем мебели в мире, обогнав Италию. В настоящее время Китай является также крупнейшим производителем листовых древесных материалов, их выпуск за последние четыре года удвоился. За последние 30 лет Китай утроил производство целлюлозно-бумажной продукции, обогнав США, и на его долю сейчас приходится почти 25 процентов общемирового производства бумаги и картона. По данным Ассоциации бумажной промышленности Китая, в настоящее время Китай является крупнейшим в мире производителем и потребителем изделий из бумаги. В области химической переработки целлюлозы, прежде всего, производства вискозного волокна на долю Китая приходится свыше половины мирового объема.

Будучи крупным потребителем древесины в виде сырья, а также в виде изделий из древесины, и крупным экспортером обработанных лесных товаров, Китай оказывает существенное влияние на мировые рынки лесных товаров, в том числе в регионе ЕЭК ООН. Ежегодное производство листовых древесных материалов в регионе ЕЭК ООН составляет примерно 120 млн. м³ по сравнению с объемом производства в Китае в 2010 году, составившем почти 160 млн. м³.

Сопоставление всех приведенных выше данных показывает, что именно плантационное выращивание тополя способствовало ускоренному развитию ряда секторов лесного комплекса Китая. Осуществив на практике широкомасштабное плантационное выращивание тополя, на долю которого приходится 40 % древесного сырья для ЦБП, 60 % сырья для производства шпона и фанеры, 30 % сырья для ДВП и ДСП, Китай способствовал развитию ряда отраслей промышленности. Таким образом произошло и в целом усиление влияния Китая на мировые рынки лесных товаров.

С учетом рассмотренных выше данных целесообразно вернуться к анализу ситуации в России и особенностей использования осины в российской ЦБП. В этом контексте и приводится ниже анализ собственных результатов экспериментальных исследований по сопоставлению морфологических

особенностей данных видов древесины и физико-механических свойств БХТММ из осины и тополя.

Морфология осины и других видов тополей. Тополь дрожащий, на практике именуемый осиной — раздельнополая порода. Одни деревья несут женские соцветия и образуют мелкие семена с опушением, которые легко разносятся ветром, а другие — мужские. По всем свойствам (лесообразующим, качеству древесины) они подобны. Для осины свойственно формовое разнообразие по морфологическим признакам, структуре древесины и устойчивости к поражению центральной белой гнилью. Одни формы (клоны) к 30–40 годам поражены гнилью до 80–90 %. В других насаждениях, даже в возрасте 60–80 лет, гнилью поражается не более 10 % деревьев, а содержание гнили в стволе составляет не более 6–8 %. Особенно устойчивостью к гнилям отличается трехплоидная форма осины. Она отличается от других диплоидных форм интенсивным ростом в высоту и по диаметру, быстрым очищением ствола от сучьев, долговечностью, образованием более плотной древесины из-за увеличенного содержания волокон либриформа и пониженного содержания сосудов и сердцевинных лучей.

Древесина тополей относится к рассеянно-сосудистым породам, подобно березе и буку. Основная масса древесного вещества образована волокнистыми элементами — волокнами либриформа, выполняющими механическую функцию, обеспечивая прочность ствола дерева. Электронные микрофотографии здоровой древесины осины приведены на рисунке 1.20, а на рисунке 1.21 — древесины осины, пораженной гнилью. По сравнению с трахеидами хвойных пород, у осины волокна либриформа значительно уже и короче; они имеют узкие полости и относительно толстые стенки со щелевидными порами. Длина древесных волокон зависит от места их расположения на поперечном сечении ствола. В центральной части, в молодой по образованию древесине, длина волокон составляет 0,4–0,6 мм. В годичных слоях 40–50-летнего возраста длина волокон достигает максимальной величины и составляет 1,4–1,7 мм. Ширина волокон либриформа

изменяется в пределах 0,020–0,046 мм. В объеме ствола волокна либриформа занимают 60–65 %. Сосуды, являющиеся проводящей системой ксилемы, представляют собой длинные широкополостные тонкостенные трубки различной длины. Они образованы короткими (от 0,2 до 1,3 мм) широкими клетками (члениками), которые контактируют друг с другом посредством перфораций в виде единственного отверстия диаметром, равным диаметру членика. На тангентальных стенках сосудов расположены мелкие окаймленные поры без торуса, посредством которых отдельные сосуды контактируют между собой. На радиальных стенках сосудов расположены относительно редко мелкие простые овальные поры. На пересечении с паренхимными клетками сердцевинных лучей тесно, группами по 12–16 штук, расположены крупные округлой формы простые поры. В объеме ствола сосуды занимают до 26 %. Паренхимные клетки образуют гомогенные сердцевинные лучи, а также ряды вертикальной паренхимы. Древесная паренхима в объеме ствола занимает до 15 %. Волокнистые полуфабрикаты, выработанные из осины, содержат в основном членики сосудов и волокна либриформа. Морфологическое строение именно этих элементов древесины и определяет их свойства.

У образцов с глубокой степенью биодеструкции растворение компонентов клеточной стенки происходит интенсивнее и сопровождается необратимым разрушением образца в условиях сжатия. Различие в физико-механических характеристиках указывает на селективное расщепление первичной клеточной стенки и наружного слоя (S1) волокна, что было подтверждено при электронномикроскопическом исследовании образцов древесины, содержащей гниль.

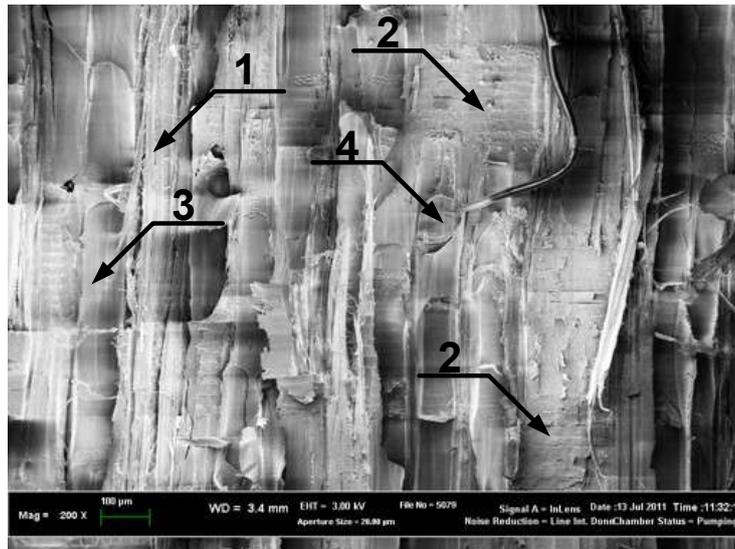


Рисунок 1.20 – Электронная микрофотография древесины осины. Увеличение в 200 раз. Радиальный скол. 1 – волокна либриформа, 2 – сердцевинный луч, 3 – сосуд, 4 – перфорация на конце членника сосуда

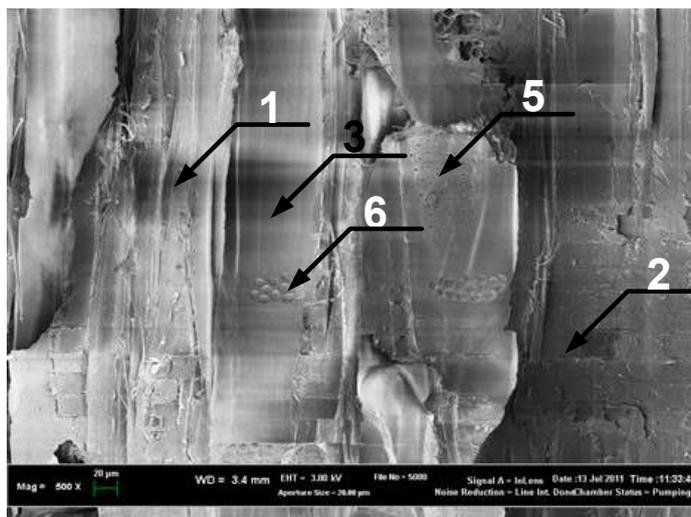


Рисунок 1.21 – Электронная микрофотография древесины осины. Увеличение в 500 раз. Радиальный скол. 1 – волокна либриформа, 3 – сосуд, 5 – простые поры овальной формы на стенке сосуда, 6 – группа округлых пор на пересечении с клетками сердцевинного луча

Выше уже указывалось, что на практике российские предприятия работают на смеси пород. Наряду с сосной и лиственницей, в их лесосырьевой базе, в естественных лесах содержатся и лиственные породы, прежде всего, осина и

береза. Поэтому на практике, при переработке сосны и лиственницы, в древесине, поступающей на варку, всегда оказывается некоторое количество и этих пород.

Таблица 1.5 – Твердость по Янка (Н) для различных пород древесины в условном зональном разделении

Порода древесины	Центральная зона	Пограничная зона	Заболонная зона
Осина	18	880	1021
Береза	1676	2214	2956
Сосна	1550	1572	1585
Лиственница	1372	1600	1651

При использовании для производства сульфатной целлюлозы осиновой древесины, пораженной гнилью, пневмотранспорт щепы выполняет при этом дополнительную функцию механического измельчения гнилых фрагментов щепы, под ударным воздействием более твердых (Таблица 1.5) частиц щепы лиственницы, сосны и березы. Удаляемые при последующем сортировании частицы гнили вместе с опилочной фракцией используются как биотопливо. **Поэтому при сульфатной варке, особенно при наличии пневмотранспорта щепы, наличие в осиновой древесине гнили не приводит к негативным последствиям.**

Совершенно иная картина наблюдается при производстве БХТММ [8]. Наличие гнили в древесине осины обуславливает ряд специфических особенностей при ее использовании в производстве БХТММ. Экспериментально установленная и теоретически обоснованная взаимосвязь физико-механических свойств древесины, биодеструкции и особенностей процесса переработки здоровой и пораженной гнилью осиновой древесины [8, 9], показала наличие ряда эффектов.

В условиях получения БХТММ повышенное содержание гнили приводит не только к снижению рН и к увеличению расхода химикатов и воды, но и к

созданию систем с ярко выраженными буферными свойствами из-за участия продуктов биодеструкции древесины в образовании «ацетатной буферной системы». Предложены научно-обоснованные пути решения выявленных проблем при производстве БХТММ из древесины осины [18].

Отличия российской осины и плантационного тополя Китая. Обычно, обсуждая различные аспекты использования в ЦБП древесины, заготовленной на плантациях, в том числе на плантациях ускоренного роста, основное внимание уделяют вопросу их продуктивности. Для плантаций тополя в Китае она превышает 11 кубометров с гектара в год. Однако не меньшее значение имеет и исключительная однородность такого сырья. Принципиально иная картина наблюдается для российских предприятий, работающих на древесине, заготавливаемой в естественных лесах. И хотя в СССР плантационное выращивание тополя осуществлялось, например, для Херсонского ЦБК, в России, в настоящее время конкурентоспособность плантационного выращивания тополя для России представляется достаточно дискуссионной.

Опыт Китая по плантационному выращиванию тополя и его использованию в ЦБП и других секторах лесного комплекса убедительно показывает перспективность данного направления.

1.2.2 Лесные ресурсы Китая и его политика лесных плантаций [9, 35]

По площади лесов Китай является пятой по величине страной в мире после России, Бразилии, Канады и США; он занимает шестое место по лесному фонду (14 648 млн. куб. м) после Бразилии, России, США, Демократической Республики Конго и Канады; и девятый по величине запаса углерода в лесах (6 203 млн. тонн) — после Бразилии, России, Демократической Республики Конго, США, Канады, Индонезии и Перу. В Китае в 2010 году было 206,8 млн. гектаров (га) лесов, что примерно равно площади Мексики или в 50 раз больше площади Швейцарии. Однако, из-за своей огромной численности населения, быстрого экономического роста и развития инфраструктуры Китай, несмотря на этот выдающийся рейтинг, по-прежнему испытывает дефицит леса и древесины.

Леса покрывают около 22 % всей территории Китая, что ниже, чем в среднем по миру (31 %), а площадь лесов на душу населения в Китае составляет менее 0,15 га на человека, что составляет около четверти среднемирового показателя (0,62 га на человека) [35].

С начала 1970-х годов государственная администрация лесного хозяйства Китая, в том числе Лесохозяйственная академия Китая (SFA) каждые 5 лет проводит национальную инвентаризацию лесных ресурсов для мониторинга лесов, событий и основных тенденций на национальном и региональном уровнях. В соответствии с результатами седьмого обследования, опубликованными в 2009 г. [35], естественные леса Китая покрывают 119,7 млн. га с объемом запасов 11 402 млн. кубов. Плантационные леса занимают дополнительно 61,7 млн. га с объемом древесины 1 961 млн. кубов. По итогам девятой национальной инвентаризации лесов лесистость Китая возросла до 23 %, а занимаемая лесами площадь увеличилась до 220 млн. га в 2018 году. Запасы древесины достигли 17,56 млрд. м³ [35].

Облысевшие в прошлом горы вновь покрываются молодыми лесами. Сейчас леса продвигаются в пустыни и отвоёвывают землю у сельского хозяйства [5]. Рост достигается, в основном, за счёт создания плантаций. На них приходится 79,5 млн. га [35]. Лесопосадки экономически ценных культур вторгаются в пределы дикой природы [35]. Чтобы её сохранить, с 2016 года запретили коммерческие рубки в натуральных лесах [35].

Леса Китая поглощают 40 млн. тонн атмосферных загрязнений в год, сохраняют воду и плодородие почв, защищают от эрозии [35].

Несмотря на промежуточные успехи, Китай по-прежнему беден лесными ресурсами, особенно в расчёте на душу населения [35]. На эту страну приходится 43 % глобального импорта круглого леса (данные 2018 года). Продукты деревообработки насыщают внутренний рынок и экспортируются в другие страны [35].

Лесные ресурсы Китая можно разделить на две основные категории: общественные леса и коммерческие леса. Леса общественного благосостояния можно дополнительно разделить на защитные леса (включая водоохранные, почвозащитные и противопожарные леса) и леса специального назначения (включая научные, учебные и природоохранные леса).

Коммерческие леса включают древесные леса, плантационные леса и хозяйственные леса (или не древесные леса). Общая площадь лесов практически равномерно распределена между лесами, обеспечивающими общественное благополучие, и коммерческими лесами с соотношением 52–48 % соответственно [35].

Большинство лесов Китая расположены в пяти регионах, что составляет 85 % от общего количества. Эти пять регионов представляют собой северо-восточный лесной район Внутренней Монголии (включая провинции Хэйлунцзян, Внутренняя Монголия и Цзилинь), юго-западный горный лес региона (включая части провинций Юньнань, Сычуань и Тибетский автономный округ), юго-восточный низкогорный и холмисто-лесной район (включая провинции Цзянси, Фуцзянь, Чжэцзян, Аньхой, Хубэй, Хунань, Гуандун, Гуанси, Гуйчжоу, Сычуань, Чунцин и Шэньси), северо-западный горно-лесной район (включая части провинции Синьцзян, Ганьсу, Нинся и Шэньси), а также южный регион тропических лесов (включая части провинций Юньнань, Гуандун, Гуанси и Хайнань, а также Тибетский автономный округ). Эти лесные угодья принадлежат либо государству, либо местным общинам (деревни), а деревья могут находиться в собственности частных предприятий и частных лиц, помимо государственных лесхозов и колхозов [35].

Примерно 40 % лесов Китая принадлежат государству, а остальные 60 % в основном находятся в коллективной собственности местных сообществ (например, деревень). После десятилетий реформ владения лесами площадь лесов, а также общая площадь лесных угодий значительно увеличилась. Между 2003 и 2008 г. площадь частных лесов увеличилась почти вдвое, с 34 до 62 млн. га,

уступает только государственным лесам (77 млн. га), а площадь коллективных лесов сократилась с более чем 68 миллионов гектаров до менее чем 58 миллионов гектаров за тот же период времени [35].

Основные породы (группы) древесины, произрастающие в Китае, включают китайский дуб (*Quercus* spp.), пихта (*Abies* spp.), ель (*Picea* spp.), лиственница (*Larix* spp.), береза (*Betula* spp.), китайская пихта (*Cunninghamia* spp.), Сосна Массона (*Pinus massoniana*), Сосна Юньнань (*Pinus yunnanensis*), тополь (*Populus* spp.) и кипарисовик Фуцзянь (*Fokienia hodginsii*). Эти виды занимают площадь 86,2 млн. га и составляют 7 603 млн. кубометров древесины [35].

Управление лесным хозяйством и внутреннее производство древесины.

Система управления лесным хозяйством Китая уходит своими корнями в традиции бывшего Советского Союза, которые были переданы Китаю в основном без изменений после 1949 года. На национальном уровне Государственный совет является главным административным органом Китая. SFA, который подотчетен Государственному совету, отвечает за разработку лесохозяйственной политики, включая установление квот на вырубку и надзор за соблюдением законов. Бюро лесного хозяйства на уровне провинций, районов / округов и поселков, несут ответственность за разработку местных квот на заготовку древесины и управление всей лицензионной деятельностью по заготовке, транспортировке, управлению и переработке леса.

Существует более 60 национальных законов, постановлений, министерских правил, а также технических руководств и стандартов, которые доступны для управления лесным хозяйством, ландшафтом, облесением, культивацией, водными ресурсами, охраной труда, заготовкой древесины, обработкой, распределением и торговлей лесоматериалами.

Двумя основными национальными законами о лесном хозяйстве являются:

(1) Закон о лесе, который был первоначально принят в 1984 г. и пересмотренный в 1998 г. Всекитайским собранием народных представителей, и

(2) Регламент реализации Закона о лесах, который был принят в 2000 году Государственным советом.

Другие нормативные акты, в том числе Положение об административном наказании в лесном хозяйстве, Руководство по административному и правоохранительному надзору за лесным хозяйством были установлены Положением об административном наказании и судебном разбирательстве в лесном хозяйстве, и обеспечивают правовую основу для защиты прав и интересов лесных сообществ и других сторон [35].

Важной частью лесной политики, которая была принята после Реформы и открытости Китая является система **ежегодных квот на вырубку (HQS)**. Она также напрямую влияет на производство коммерческой древесины в Китае.

Принятая в 1987 году система ежегодных квот на вырубку требует, чтобы все операции по лесозаготовке для рубки деревьев или бамбука (за исключением случаев, когда они выращены на приусадебных участках сельских жителей или вокруг домов и дворов) осуществлялись по квотам. HQS основывается на данных, собранных государственными лесными хозяйствами и районными коллективными или частными лесными хозяйствами. Бюро лесного хозяйства на уровне провинций объединяют и проверяют эти данные перед отчетной информацией для SFA.

На основе обновленной лесной статистики каждые 5 лет SFA разрабатывает национальную квоту на вырубку на уровне провинций. После утверждения национальной квоты Государственный совет SFA распределяет квоты на заготовку древесины провинциям и лесным хозяйствам, бюро крупных лесопромышленных регионов, которые далее делятся и выделяются на уездном и городском уровнях. Местные администраторы лесного хозяйства несут ответственность за выдачу лицензий на рубку в соответствии с квотой, выделенной для их региона.

В соответствии с Законом о лесном хозяйстве каждая партия древесины должна сопровождаться тремя разрешениями: разрешением на заготовку

древесины, карантинное разрешение (сертификат) и разрешением на вывоз древесины из лесов и до поступления в перерабатывающий сектор. Эти три разрешения являются ключевыми документами, необходимыми для установления цепочки поставок для юридических лиц.

Производство древесины в Китае. Правоприменение осуществляется администрациями лесного хозяйства и бюро лесной полиции на национальном и региональном уровнях. Чтобы обеспечивать соблюдение этих правил в лесных массивах, портах, зонах переработки и лесных рынках располагаются пункты осмотра лесоматериалов. Кроме того, в SFA действуют 13 комиссий по надзору за лесным хозяйством и офисы в богатых лесами районах — для надзора за местным использованием лесных ресурсов.

В 1998 году был принят «запрет на вырубку леса», резко сокративший внутреннее производство древесины. Центральное правительство значительно сократило заготовку древесины в естественных лесных массивах и значительно увеличило площадь лесов, отнесенных к категории «защитных» лесов. Этот запрет был введен после того, как Китай пострадал от серии разрушительных наводнений, унесших тысячи жизней и вынудивших миллионы людей покинуть свои дома в конце 1990-х годов. Между периодами пятой Национальной инвентаризации лесов (1994–1998 гг.) и шестой Национальной лесной инвентаризации по инвентаризационным обследованиям (1999–2003 гг.) площадь естественных лесов сократилась почти на 20 млн. га, или около 26 %.

Контроль за отечественным производством древесины постепенно ослаблялся после 2003 года и реформ были переданы в HQS для **поощрения производства древесины с плантаций**. Первичная реформа включала проведение различия между экологическими/общественными лесами и плантационными/техническими лесами. При сохранении общей схемы квотирования лесозаготовок распределения, новая HQS обеспечивает большую гибкость в распределении квот ведения журналов в пределах плантационных/технических лесов.

Предусмотренная двенадцатым 5-летним годовым планом, который регулирует период 2011–2015 годов, «Квота на вырубку» имела несколько моментов, заслуживающих внимания.

- Пятилетняя общая квота на производство древесины составляла 258 миллионов кубометров, что более чем на 4 % превышало предыдущую пятилетнюю квоту.

- Самое большое увеличение квоты на вырубку имела провинция Гуанси, что сделало ее крупнейшей лесозаготовительной провинцией в Китае. Ожидалось, что производство древесины в Гуанси увеличится на 47 % и достигнет 36,8 млн. кубометров за 5 лет, или 14 % от общекитайского объема заготовки древесины (Бюро лесного хозяйства Гуанси, 2011 г.).

- Значительный вклад в предложение отечественной древесины в течение этого периода [36] составят запасы древесины на плантациях, в первую очередь тополя (*Populus*) и эвкалипта (*Eucalyptus*).

HQS и изменения в политике после 1998 г. ясно свидетельствуют о намерении китайского правительства защищать естественные леса и повышать роль плантаций в оказании помощи достижению самообеспеченности поставками древесины в долгосрочной перспективе. Но эти меры также вызвали некоторые опасения в краткосрочной перспективе. Из-за нехватки отечественных запасов древесины, запрет на вырубку привел к всплеску объема древесины, импортируемой Китаем. По оценкам импорт составлял в 2010 году не менее 70 % от общего потребления древесины в Китае и прогнозировалось, что к 2015 году разрыв в поставках увеличится как минимум на две трети.

В то время, когда домашние плантации станут достаточно зрелыми, чтобы производить значительные объемы древесины [36], сильная зависимость Китая от зарубежной древесины ослабнет. Отсутствие надежных и стабильных поставок отечественной древесины стало серьезным источником ненадежности отрасли, способствовала резкому росту цен на лесоматериалы во всем мире и побуждала

все большее число китайских фирм инвестировать в экспорт лесных ресурсов из России, Африки и Юго-Восточной Азии.

Тем временем экологические группы все больше были обеспокоены тем, что растущий спрос Китая на древесину может еще больше подпитывать незаконную лесозаготовку в странах-источниках.

После введения в 1998 г. запрета на вырубку леса трудоустройство в Лесной промышленности Китая сократилось на 30 % (или почти 1 млн. рабочих мест). Несмотря на усилия правительства создать возможности трудоустройства благодаря деятельности по облесению / лесовосстановлению, развитию сообщества лесных предприятий для производства недревесных продуктов леса и поощрения лесного туризма как альтернативных способов поддержки экономической деятельности в местных сообществах, зависящих от леса, внутри страны расширились незаконные лесозаготовки, а также возникли социальные конфликты, связанные с запретом рубок. Все это также требовало реформы владения лесами.

В экономической теории широко поддерживается мнение о том, что экологические нормы имеют положительное влияние на общую занятость в долгосрочной перспективе, поскольку они помогают создавать новые рабочие места в других секторах экономики, хотя в краткосрочной перспективе местные потери рабочих мест могут быть значительными.

Чтобы принять во внимание как долгосрочные экономические выгоды, так и краткосрочные экономические потери, национальная лесная политика должна была решать местные проблемы, позволяя выйти из экономических неурядиц.

В результате, после 1998 года были приняты **программы облесения и лесовосстановления**. Облесение и лесовосстановление находятся в центре политики лесного хозяйства Китая. В 1998 году китайское правительство ввело новую систему устойчивого лесопользования и программу охраны окружающей среды до 2010 года, которая включала шесть крупных лесохозяйственных инициатив стоимостью 85 миллиардов долларов США, а именно:

1. **Программа защиты естественных лесов (Natural Forest Protection Program — NFPP)** (часто называемая запретом на вырубку);

2. Программа преобразования земель из сельскохозяйственных в пастбища и лесные угодья (так называемая программа «Зерно для зелени»);

3. Программа борьбы с песчаными бурями в районе Пекин-Тяньцзинь;

4. Программа развития защитных лесов на Трех Северах, Долина река Янцзы и в других регионах;

5. Программа создания в ключевых районах быстрорастущих и высокопродуктивных плантаций и лесопромышленных комплексов на их основе;

6. Программа охраны дикой природы и развития заповедников.

Эти лесохозяйственные инициативы охватили почти все провинции Китая и были нацелены почти на 80 млн. га земли под лесонасаждение. В 2000 году Китай официально запустил NFPP, после 2-летнего испытания. NFPP была реализована в период с 2000 по 2010 год в 734 округах и 167 лесхозах в 17 провинциях, в том числе в верховьях Янцзы и Хуанхэ, а также в регионах Северо-Востока и Внутренней Монголии, которые традиционно были крупными государственными лесными районами. Программа запросила полную остановку всех лесозаготовительных работ в естественных лесах по среднему и верхнему течению Янцзы и Хуанхэ, сократили вырубку леса в естественных лесах на северо-востоке Китая и привели к преобразованию лесозаготовительных предприятий в предприятия по охране и уходу за лесом.

На первом этапе NFPP (2000–2010 гг.) правительство Китая инвестировало 111,9 млрд. юаней (около 17 млрд. долларов США). В 2010 году китайское правительство объявило о своем решении продлить NFPP на вторую фазу с 2011 по 2020 год. Вторая фаза программы включает еще 11 округов с общим запланированным объемом инвестиции в размере 244 млрд. юаней (около 37 млрд. долларов США). Результатом первого этапа NFPP стал чистый прирост лесной площади на 10 млн. га и увеличение запасов в проектных регионах на 725 млн. кубометров леса. Это привело к увеличению лесного покрова на 3,7 %.

Ожидалось, что к концу второго этапа (в 2020 г.) NFPP дополнительно увеличит площадь лесов на 4,2 млн. га, а запасы древесины увеличит на 1,1 млрд. кубометров. Центральное правительство потратило 233,2 миллиарда юаней (более 31 миллиарда долларов США) на плантации. В период с 1999 по 2009 год было посажено 27,7 млн. га новых лесов. Учитывая успех этой программы SFA объявила, что центральное правительство выделит дополнительно 200 миллиардов юаней (33 миллиарда долларов США) на программы лесонасаждения до конца 2021 года. Эти программы лесонасаждения также считаются частью обязательств Китая по решению проблем изменения климата [37].

Увеличение площади лесных насаждений было важной частью общей стратегии SFA по увеличению внутреннего производства древесины и уменьшению зависимости Китая от импортных лесоматериалов. Лесопосадки в 2009 году составляли 38 % от общей площади лесов в Китае, а объем древесины, заготовленной из плантационных лесов, составлял почти 40 % от общего объема заготовок (SFA 2009b), хотя качество плантаций и объемы производства могут быть ниже официальных оценок. Многие аналитики подозревают способность китайских плантаций для удовлетворения внутреннего спроса и, следовательно, для достижения амбициозных целей правительства по самообеспечению, без дальнейшего стимулирования небольших лесных общин и малообеспеченных лесных фермеров к повышению продуктивности лесов (Ху 2011). Среди китайских правительственных чиновников и исследователей растет консенсус в отношении того, что нынешний подход к освоению лесов имеет свои ограничения. Тем не менее при быстром развитии плантаций и постепенном ослаблении квоты на вырубку, Китай сейчас имеет возможность увеличить собственное производство древесины как в государственном, так и в коллективном лесах [37, 38].

Программа преобразования земель была реализована в 1999 году и охватила Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй, Шаньси, Внутренняя Монголия, Синьцзян, Нинся и др. - всего 25 провинций (автономные районы, муниципалитеты, находящиеся в

прямом подчинении центрального правительства), а также Синьцзянский Производственно-строительный корпус, включающий 1897 уездов (включая муниципалитеты, районы и др.). Программные регионы были сгруппированы по 10 категориям, в том числе засушливый регион опустынивания в Синьцзяне; лёссовые холмы и долины; засушливые и полузасушливые районы на севере Китая; а также горы и песчаные земли на северо-востоке Китая. Цели и задачи программы на 2010 год предусматривали облесение 14,7 млн. га мелиорированных земель, облесение 17,3 млн. га земель в бесплодных горах и бесплодных землях подходит для выращивания деревьев, преобразования крутых сельскохозяйственных угодий и тяжелых песчаных почв, сельскохозяйственных угодий в лесные угодья, а также увеличение охвата лесов и трав в программе регионов на 4,5 % [38–41].

Среди китайских правительственных чиновников и исследователей растет консенсус в отношении того, что **нынешний подход к освоению лесов имеет свои ограничения**. Тем не менее при быстром развитии плантаций и постепенном ослаблении квот на вырубку, Китай сейчас имеет возможность увеличить собственное производство древесины как в государственных, так и в коллективных лесах [37].

Остановимся, в связи с этим, на нескольких последних статьях ученых Принстонского университета (Б. Роуз Келли, Школа общественных и международных отношений имени Вудро Вильсона) и китайских ученых «Выживание и восстановление коренных лесов Китая, которым угрожает разрастание плантаций деревьев», результаты которых были опубликованы в журнале *Biological Conservation*, 2018 [42].

По мнению группы исследователей из Принстонского университета, изучавших проблемы китайских лесов, в Китае реализовали одну из самых амбициозных в мире стратегий по защите и восстановлению лесов, **однако эти программы по-прежнему не достигают цели**. Используя спутниковые снимки и интервью с домашними хозяйствами, они изучили, как государственная политика

влияла на землепользование на юго-западе Китая в период с 2000 по 2015 год. По мнению группы исследователей Принстонского Университета, в политике Китая по лесовосстановлению до сих пор игнорировалась естественная регенерация, которая предполагает оставление земли в покое, чтобы местные деревья могли вырасти сами по себе, но ее следует поощрять как законное средство восстановления лесов. Приводя фотографию расположенных в природном заповеднике Волонг плантаций монокультурных деревьев, покрывающих горные склоны в районе Китайского исследовательского центра по сохранению гигантской панды, авторы указывают, что этот район находится недалеко от остатков естественных лесов. Это указывает на то, что этот район мог быть **идеальным местом для естественного восстановления.**

Китаю принадлежит самая большая площадь плантаций в мире, составляющая 24,82 % мировых площадей плантаций [8]. Постоянное увеличение площади плантаций вносит значительный вклад в лесной покров Китая, но урожайность и качество насаждений в целом невысокие, а запас леса на гектар невелик, всего 69 % от среднемирового уровня — 131 м³ [8]. Плантации тополя не исключение, хотя они играют важную роль в поддержании коммерческих поставок лесной продукции и поглощении атмосферного CO₂ [42]. С развитием экономики резко вырос уровень потребления древесины в Китае. В 2018 году Китай импортировал около 127,61 млн. м³ основных лесных товаров, включая бревна, пиломатериалы и древесную целлюлозу на сумму 47,01 миллиарда долларов [43].

1.2.3 Китайский опыт и европейские плантации тополя в наши дни

В последние годы в условиях разрыва международных торговых цепочек поставок в Западной Европе возрождается интерес к тополи и к Китайскому опыту. Свидетельством этому являются и публикации ФАО ООН и публикации Европейской инициативы по тополям [32, 44].

В книге «Тополя и ивы: деревья для общества и окружающей среды» её основные авторы Й. Г. Изебрандс, Д. Ричардсон и авторы отдельных глав рассматривают основные аспекты проблемы [Poplars and willows: trees for society and the environment J. G. Isebrands, J. Richardson, 2024, 614 p.]

Тополя и ивы являются важным компонентом Европейского лесного хозяйства и сельскохозяйственных систем, обеспечивая широкий ассортимент древесных и недревесных продуктов. Эта книга обобщает исследования тополей и ив, предоставляя практический обзор во всем мире и руководство по их основным характеристикам, выращиванию и использованию, вопросам, проблемам и тенденциям. Особое внимание уделяется экологическим преимуществам и важности выращивания тополя и ивы для удовлетворения потребностей людей и общин, устойчивых источников средств к существованию, землепользования и развития.

В первой главе освещается растущая популярность **тополиных плантаций в Европе**, подчеркивается их уникальная бизнес-модель в лесном хозяйстве. Тополя отличаются быстрыми темпами роста, что позволяет сократить горизонт инвестиций в заготовку древесины (от 10 до 20 лет). Такая быстрая ротация сводит к минимуму риски, связанные с неблагоприятными условиями, и обеспечивает более быструю окупаемость инвестиций по сравнению с медленно растущими деревьями. Приспособляемость тополя к различным почвам и климатическим условиям в сочетании с высокой урожайностью позиционирует его как привлекательный и универсальный выбор для коммерческого лесного хозяйства. Помимо экономических выгод, тополиные плантации способствуют социальному благополучию, выступая в качестве динамического поглотителя углерода, предотвращая эрозию почвы, уменьшая загрязнение воды и поддерживая биоразнообразие. Кроме того, выращивание тополей способствует занятости в сельской местности и соответствует устойчивым методам управления, соответствующим местным и европейским нормам. В заключительной части статьи подчеркиваются преимущества выращивания тополей по сравнению с

другими инвестициями в лесное хозяйство, особенно на европейском рынке древесины с высокой добавленной стоимостью.

В поисках альтернативы русской березе. С европейским запретом на российскую и белорусскую березовую фанеру возник запрос на альтернативы. Древесина европейского тополя, полученная из экологически чистых лесов Франции, Испании и Италии, оказывается жизнеспособной заменой с точки зрения технических и механических требований. Тополь, известный своей устойчивостью с быстрым циклом роста в 10-15 лет, широко выращивается в Европе. Запрет, введенный из-за санкций против России и Беларуси, создал вакуум на рынке, особенно в строительном секторе. Фанера из тополя, обладающая техническими преимуществами и экологичностью, представляет собой потенциальное решение, помогающее удовлетворить спрос и смягчить влияние санкций на российскую лесную продукцию. В главе также освещаются риски обхода санкций и предложение Еврокомиссии ввести уголовную ответственность за нарушения санкций.

Российская березовая фанера продолжает поступать, минуя санкции ЕС. Несмотря на санкции ЕС, запрещающие импорт российской и белорусской древесины, березовая фанера и другая продукция продолжают поступать в ЕС через третьи страны. После введения санкций в ответ на вторжение России в Украину торговые маршруты сместились в такие страны, как Китай, Казахстан и Кыргызстан. Расследования показывают, что компании используют лазейки с вводящими в заблуждение документами, декларируя поставки из Казахстана или Кыргызстана, чтобы обойти санкции. Таможенники на границах Литвы и Латвии изо всех сил пытаются предотвратить такое уклонение, поскольку правовая база нацелена только на прямой импорт из России и Беларуси. Отраслевые ассоциации предупреждают о серьезных последствиях, включая штрафы, конфискацию прибыли, тюремное заключение и ущерб репутации, что подрывает эффективность санкций ЕС.

Тополь в Италии: достижения и устойчивое выращивание. В данной главе исследуется историческое значение и современная актуальность выращивания тополя в Италии, прослеживая его корни как «дерева народа» в начале 20-го века, когда начались интенсивные усилия по генетическому улучшению. Выращивание тополя в Италии, занимающее в настоящее время площадь от 45 000 до 50 000 гектаров, играет решающую роль в производстве фанеры для мебели, а также в различных промышленных и энергетических областях. Недавние сдвиги в сторону устойчивого развития методов выращивания и генетического улучшения позиционируют тополь как экологически важный ресурс, способствующий поглощению углерода, фиторемедиации и сохранению биоразнообразия. Достижения в области генетического улучшения привели к появлению новых, устойчивых сортов, обеспечивающих баланс между продуктивностью и уважением к окружающей среде, что делает тополь многообещающим направлением для устойчивых решений в будущем Италии.

Плантация французского тополя: влияние климата и новые сорта. В этой главе обсуждается известность тополя как лиственной породы древесины во Франции, занимающей более 194 000 гектаров и вносящей значительный вклад в урожай лиственных пород, заняв второе место после дуба в 2021 году. Обладая высокой биологической продуктивностью, тополя являются быстрорастущими и универсальными, производя древесину, используемую для лущения и распиловки. В главе подчеркивается важность культивирования и сохранения генетических ресурсов тополя, подробно рассказывается о существовании различных сортов тополя и длительном процессе получения новых. В ней также рассматриваются такие проблемы, как вредители и воздействие климата на выращивание тополя, подчеркивая необходимость адаптации устойчивых сортов к изменяющимся условиям окружающей среды. Признается роль инициативы в продвижении культивирования тополя во Франции, подчеркивается необходимость продолжения усилий по удовлетворению растущего спроса на древесину тополя и

обеспечению устойчивости этого ценного лесного ресурса в условиях изменения климата.

Испания: знакомство с наиболее известными сортами тополя для устойчивого выращивания. Выращивание тополей (род *Populus*) в Испании значительно выросло в последние десятилетия, и страна может похвастаться Национальным каталогом лесных репродуктивных материалов, который включает тщательно отобранные сорта тополя. Заслуживающие внимания виды и гибриды в каталоге, такие как *Populus nigra* и *Populus deltoides*, подходят для различных почвенных и экологических условий. Критерии выбора тополиных насаждений отдают приоритет продуктивности, устойчивости к вредителям и болезням, качеству древесины и простоте размножения. Текущие исследования и усилия по генетическому улучшению, проводимые в сотрудничестве с крупнейшими европейскими исследовательскими центрами, направлены на повышение адаптивности, устойчивости и производительности, способствуя устойчивому и прибыльному выращиванию тополя в Испании.

Все, что вы хотели знать о тополе, но не знали. В этой главе исследуются универсальные и экологически чистые аспекты тополей, подчеркиваются их быстрый рост и способность улавливать углерод, что делает их ценными в борьбе с изменением климата. Дискуссия также углубляется в классификацию древесины тополя как твердой древесины, несмотря на ее мягкость на ощупь, и рассматривает ее различные применения, от мебели и дизайна интерьера до высокотехнологичных отраслей промышленности, таких как автофургоны и лодки, а также ее использование в производстве фанеры и инновационных строительных материалов. В главе подчеркивается легкость обработки древесины тополя и ее пригодность для устойчивых альтернатив в таких отраслях, как упаковка и строительство.

Промышленное применение древесины тополя. В главе анализируется растущий интерес к выращиванию тополя, обусловленный растущим спросом на древесину и изделия из нее. Привлекательность тополя заключается в его

быстром росте, улавливании углерода во время цикла и универсальности для промышленного использования. Благодаря таким свойствам, как легкость, цвет и простота обработки, древесина тополя становится устойчивой заменой менее экологичным материалам. Он находит применение в производстве фанеры, мебели, строительстве и высокотехнологичных отраслях промышленности. Текущие исследования сосредоточены на потенциале тополя в агропродовольственной упаковке, что указывает на его развивающиеся области применения. Д-р Гаэтано Кастро предполагает, что древесина тополя, с ее структурной эффективностью, может быть использована в строительстве, подчеркивая необходимость точной технической информации и проектных соображений. Тополь становится ценным, возобновляемым и устойчивым ресурсом, отвечающим требованиям рынка и снижающим нагрузку на естественные леса.

Европейская инициатива по тополям, в статье «ТОПОЛЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЦЕННОСТЬ» [44], отмечают, что тополь – одно из самых эффективных деревьев с точки зрения устойчивости. Это одна из самых быстрорастущих пород в Европе, что делает ее экономически выгодной инвестицией, поскольку один гектар тополя ежегодно улавливает 11 тонн CO₂. Тополь также можно посадить на бесполезной земле, оптимизируя таким образом землепользование и увеличивая запасы древесины из возобновляемого источника сырья.

ТОПОЛЬ – УСТОЙЧИВЫЙ ОТВЕТ ДЛЯ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЕВРОПЫ, 22 ФЕВРАЛЯ 2024 ГОДА Команда ProPopulus. Европейская лесная промышленность переживает поворотный момент после принятия нового **Регламента Европейского Союза по обезлесению (EUDR)**. Европейские леса должны адаптироваться к более устойчивым практикам, чтобы свести к минимуму глобальное обезлесение и деградацию. Среди множества вариантов особенно выделяется один: универсальный и быстрорастущий тополь. Поскольку лесной сектор ищет альтернативы традиционным практикам, инвестиции в

обновление тополевых лесов и плантаций становятся стратегической возможностью. EUDR, призванный заменить Регламент ЕС по древесине (EUTR), представляет собой новаторскую инициативу, направленную на ограничение вклада ЕС в глобальную вырубку лесов. Новый регламент EUDR, опубликованный 9 июня в Официальном журнале ЕС, вступит в силу в течение 18 месяцев для крупных компаний (начиная с 30 декабря 2024 г.) и 24 месяцев для МСП и микропредприятий (30 июня 2025 г.). Это постановление расширяет сферу применения и охватывает различные отрасли, такие как древесина, соя, говядина, пальмовое масло и их производные. Он налагает строгие обязательства по комплексной проверке на компании, участвующие в производстве, переработке и сбыте этой продукции. Такая комплексная проверка предполагает проверку методов устойчивого снабжения и обеспечение соблюдения экологических и социальных стандартов. В отличие от своего предшественника, EUDR требует совместной ответственности по всей цепочке поставок, требуя от операторов сообщать данные о геолокации и расширять комплексную проверку, чтобы охватить законодательство, устойчивое управление лесами, трудовые права и многое другое. Хотя системы добровольной сертификации, такие как PEFC и FSC, признаны, само по себе соблюдение сертификации не освобождает компании от выполнения обязательств по комплексной проверке. Этот нормативный сдвиг подчеркивает острую потребность в устойчивых альтернативах в лесной отрасли.

Инвестиции в тополь: стратегический шаг. На фоне пересмотра нормативно-правовой базы инвестиции в возобновление тополиных лесов и плантаций становятся стратегическим шагом для европейской лесной промышленности. Тополь, известный своим быстрым ростом и универсальностью, представляет собой жизнеспособную альтернативу традиционным источникам древесины. Приблизительно 450 000 гектаров тополевых лесов в ЕС, в основном сосредоточенных в странах Средиземноморья, выращивание тополя предлагает устойчивое сырье местного производства.

Кроме того, быстрый цикл роста тополя, составляющий от 10 до 20 лет, соответствует острой потребности в устойчивых источниках древесины. Более того, тополя поглощают углерод во время своего роста, способствуя усилиям по смягчению последствий изменения климата.

Древесина тополя обладает исключительными качествами, в том числе легкостью, однородностью и простотой обработки, что делает ее пригодной для многих промышленных применений. Древесина тополя широко используется в производстве фанеры, мебели и высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как автофургоны, поезда и яхты. Кроме того, его светлый цвет и нейтральность делают его идеальным для упаковки в агропищевой промышленности, а текущие исследования изучают его потенциал для структурного применения в строительстве. По мере развития динамики рынка универсальность тополя обеспечивает его актуальность в различных секторах, предоставляя новые возможности для инноваций и роста.

Более того, инвестиции в выращивание тополя уменьшают вырубку лесов и способствуют развитию местной экономики. Устойчивые тополиные леса создают рабочие места и поддерживают развитие сельских районов, согласуясь с более широкими целями устойчивого развития. Кроме того, возобновляемость и возможность вторичной переработки тополя снижают зависимость от ограниченных ресурсов, предлагая долгосрочное решение для удовлетворения потребностей рынка.

Маяк надежды. В заключение авторы [44] отмечают, что по мере того, как европейская лесная промышленность переходит к устойчивому развитию в рамках EUDR, тополь становится маяком надежды. Его быстрый рост, универсальность и экологические преимущества делают его стратегической инвестицией в будущее. Обновляя тополевые леса и плантации, Европа может одновременно соблюдать нормативные требования и способствовать экономическому росту, способствовать местному развитию и способствовать глобальным усилиям по устойчивому развитию. Поскольку лесной сектор

активно внедряет инновации, тополь является символом устойчивости и прогресса.

В заключение целесообразно ещё раз отметить, что в Китае в 2016 году на 34 ЦБК работали 51 технологическая линия по производству волокнистых полуфабрикатов, общей производительностью 10,73 млн тонн в год. Из этих 51 линий на 25 линиях, производящих, в основном, беленую ХТММ, (реализованы процессы P-RC АТМР или ХТММ) используется щепа тополя или смеси «тополь-эвкалипт». Для производства беленой химико-механической массы использование древесины тополя с подходящей базовой плотностью и светлым цветом древесной щепы позволило добиться хороших показателей, включая более низкий расход химикатов, более низкую удельную энергию переработки и более высокий выход целлюлозы и т.д. Таким образом, на существующих линиях по производству БХТММ из тополиной щепы можно производить высококачественную продукцию. Эти линии расположены в таких районах, как бассейн реки Янцзы, равнина между реками Хуанхэ и рекой Хуай, Северо-Китайская равнина и северо-восточные регионы. Все линии были поставлены компанией Valmet Co., Финляндия. Их технико-экономические характеристики можно резюмировать следующим образом: дозировка едкого натра - 40-60 кг/т, пероксида водорода - 70-100 кг/т, удельная энергия рафинирования 1100-1300 кВтч/т, степень помола 250-350 мл CSF, масса $>2,40$ г/см³, индекс растяжения >24 Нм/г, белизна 72-80%, непрозрачность $>88\%$. Компания Meilun Paper Co. Ltd., установила линию по производству ВСТМР с годовой мощностью 250 000 тонн беленой химико-механической массы с использованием тополино-эвкалиптовой щепы смеси для повышения пухлости в качестве сырья для производства мелованного картона цвета слоновой кости и изделий из художественной бумаги. Несколько модификаций и технических оптимизаций были проведены для линий P-RC АРМР, что привело к снижению производственных затрат и улучшение качества целлюлозы, например, дозировка каустической соды 40-50 кг/т, перекиси водорода 60-80 кг/т, удельная энергия размолы 1200-1500 кВтч/т, помол массы

150-250 мл CSF, объемная масса 1,80-2,30 г/см³, индекс растяжения 32-40 Нм/г, индекс разрыва 3,0-4,0 мН·м²/г, белизна 76-80%, непрозрачность >85%.

Компания Jiaozuo Ruifeng Paper Industrial Co. Ltd. завершила строительство линии по производству целлюлозы P-RC АРМР годовой производительностью 150 000 тонн. Компания Yueyang Paper Industrial Holdings Co., входящая в группу лесобумажной компании Tiger, установила две химико-механические линии по производству БХТММ, первую производственную линию АРМР в мире, с годовой производственной мощностью 30 000 метрических тонн тополиной БХТММ была установлена в 1997 году, и производственная линия P-RC АРМР с годовой производственной мощностью 100 000 метрических тонн. Линия по производству тополиной БХТММ была установлена в 2005 году с использованием древесины гибридов американского черного тополя, с плантациями в бассейне озера Тунтинху. Вся тополиная БХТММ применяется для производства газетной бумаги и сортов LWC. Система БХТММ была поставлена Anritz АВ. Его технико-экономические параметры указаны следующим образом: дозировка каустика 50~60 кг/т, перекись водорода 60~80 кг/т, удельная энергия размола 1000-1200 кВтч/т, помол 250-350 мл CSF, объемная масса 2,40 г/см³, индекс прочности 24 Нм/г, белизна 76-80%. Эту БХТММ можно использовать в производстве офисной бумаги.

Однако, для российских ЛПК существуют свои специфические особенности, которые целесообразно учитывать при рассмотрении данной проблемы. **Первая из них касается предотвращения гнили.** Для плантационного выращивания необходимо использовать именно гнлоустойчивые клоны осины. Как указывалось выше, особенно устойчивой к гнилям отличается трехплодная форма осины. Она отличается от других диплоидных форм интенсивным ростом в высоту и по диаметру, быстрым очищением ствола от сучьев, долговечностью, образованием более плотной древесины из-за увеличенного содержания волокон либриформа и пониженного содержания сосудов и сердцевинных лучей. Переход от естественного лесовосстановления к

плантационному и позволяет направленно менять структуру восстанавливаемого леса. Вторая особенность касается климатических отличий наших предприятий от китайских и использования скандинавской технологии промышленного выращивания саженцев в закрытом грунте. Целесообразно, однако, при этом ставить теплицы непосредственно на территории ЛПК. Таким образом, появляется возможность использования для ее обогрева избыточного низкопотенциального тепла, в огромном количестве имеющегося на всех ЦБК. В-третьих, в качестве почвообразователя целесообразно использовать, как один из компонентов, избыточный активный ил. Самостоятельным направлением является и применение для дополнительного повышения плодородия почвы верми-технологии, т.е. применение дождевого червя для образования гумуса.

На протяжении достаточно длительного времени осина рассматривалась в лесной промышленности как сорная, малоценная порода. Последнее десятилетие с успешным опытом плантационного выращивания тополя, прежде всего в Китае, показало, насколько перспективна эта порода. Кстати, в старые времена на Руси осина рассматривалась как ценнейший строительный материал, применяемый, например, в виде кровельной драпки или лемехов для кровли церквей [49].

Поэтапная реализация всех рассмотренных выше направлений позволит перейти на практике к осуществлению принципов биорефайнинга осины и других видов тополей и откроет новые возможности интенсификации лесопользования, при одновременном предотвращении ухудшения породного состава лесосырьевой базы.

1.2.4 Опыт и перспективы использования на Светогорском ЦБК осинового сырья при производстве картона и бумаги

Интегрированные целлюлозно-бумажные комбинаты в России, построенные по технологии от щепы до напорного ящика БДМ, позволяют достигать минимальной себестоимости и эффективно управлять качеством готовой продукции. В этом отношении Светогорский ЦБК – не только сложный

интегрированный ЦБК, но и предприятие, все годы своего существования осуществлявшее и экспериментальные функции. Так, впервые в нашей стране на нем была осуществлена в промышленных масштабах кислородно-щелочная обработка целлюлозы (КЩО), являющаяся основой бесхлорной отбеливки целлюлозы во всем мире [48]. Производство бумаги для слоистых пластиков и картона для жидких пищевых продуктов впервые в стране было освоено именно здесь, эти виды продукции выпускались как инновационные продукты в промышленных масштабах [47]. Здесь впервые было осуществлено применение при производстве высококачественных видов бумаги полуфабрикатов высокого выхода, в частности беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) – обеспечившее использование малоценных и сорных пород древесины для производства высокотехнологичных, инновационных видов продукции с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, на ЦБК была реально проведена интеграция и мирового и отечественного опыта разработки и реализации самых современных технологий, и продолжения взаимодействия с отечественными университетами для научного и кадрового обеспечения решения технологических и экологических проблем.

Для производства одной тонны БХТММ требуется около 2,5–2,8 м³ древесины, тогда как для производства одной тонны целлюлозы — 4-5 м³. [2, 3]. Сырьем для БХТММ служит осина («тополь дрожащий») — не востребованная на период освоения технологии на ЦБК порода древесины, не позволяющая эффективно вести лесопользование. Осина — одна из доминирующих пород на Северо-Западе России; она является быстрорастущей, но недолговечной породой. В благоприятных условиях средний запас древесины на гектар леса может достигать 650 кубометров [49]. В смешанных лесах осина рассматривается не только как неликвидная древесина, но и как сорная лесная порода, замедляющая рост высокоценных хвойных пород. В то же время сегодня в мире тополь (осина) рассматривается как очень перспективная порода, плантации которого позволили

Китаю резко расширить производство лесной продукции (фанеры, бумаги) [1-3, 6-8].

Экологическое значение использования осины для Северо-Западного региона РФ заключается также в том, что это позволяет экономить большое количество древесины других пород. Однако, производство БХТММ является с экологической точки зрения и наиболее сложным, так как при выходе продукции 85% в стоки попадает 15% от массы древесины, а использование традиционной системы регенерации сульфатного процесса не целесообразно [2].

Спецификой Светогорского ЦБК является наличие производства ХТММ, при производстве которой в стоки переходят низкомолекулярные фрагменты продуктов механо-деструкции природного лигнина, являющегося не токсичной частью природного карбонового цикла, но определяемого при используемых методах анализа стоков как «лигнин», через «лигносульфоновые кислоты». Учитывая, что в зависимости от вида продукции, выпускаемой на производстве ХТММ, существенно меняется вклад данного производства при определении общего показателя ХПК, а при производстве так называемых «тяжелых марок» — беленой ХТММ из осины с выходом 85 % — доля в общих стоках ЦБК стоков производства этой продукции намного выше, чем при производстве «легких» марок — хвойной небеленой ХТММ с выходом 93 %, ассортимент выпускаемой продукции также становится определяющим фактором.

С пуском завода БХТММ предприятию пришлось, в сотрудничестве с Кафедрой Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ, решать ряд технологических проблем, связанных с заготовкой, сортировкой и хранением осинового баланса, оптимизацией технологического процесса для получения оптимальных свойств готовой продукции, потребления энергии и химикатов и с очисткой стоков, с компенсацией влияния гнили на ХПК в стоках [7, 10].

Основная проблема – качество осиновых лесов Северо-Западного региона РФ, которые представляют собой перестойные леса с большим содержанием гнили. Отсутствие достаточной инфраструктуры заготовки леса, дорог,

терминалов, увеличение стоимости доставки, сезонность лесозаготовок, когда основная масса заготавливается в зимний период, приводило к тому, что в первую очередь заготавливались и вывозились на терминалы более ценные породы, пиловочник, березовый кряж, а осина оставлялась «на потом». Как следствие, осиновый баланс, срубленный зимой, мог попасть в переработку к середине, концу лета, еще более пораженный гнилью и грибами, что еще более усугубляло ситуацию.

Продукты гниения «закисляли» древесину и приводили к созданию «ацетатной буферной системы», что снижало выход, вызывало перерасход химикатов на пропитку и отбелку, и увеличение нагрузки на очистные сооружения.

Проведя, совместно с ВШТЭ, научно-исследовательские работы и оценив негативный экономический эффект, был разработан комплекс мер, позволивший успешно решать проблему [10]:

- а) Были разработаны различные спецификации для осины, используемой в смеси с березой для производства сульфатной лиственной целлюлозы, и для БХТММ. Стандарт предусматривал более жесткие нормы по гнили при использовании осины для БХТММ, нормирование срока между рубкой и использованием в летний период времени и в межсезонье. При этом применялись стимулирующие меры для заготовителей, что, естественно, влияло на стоимость заготовки, но, в конечном итоге, давало позитивный экономический эффект [10-11];
- б) Учитывая, что вторичная гниль развивается в осиновом балансе при хранении в летний период, были созданы зимние склады хранения осины под «шубой» - под слоем опилок и снега, с тем расчетом, чтобы к концу лета, до начала зимнего периода заготовки, завод мог использовать баланс отличного качества, влажный и без гнили. Был наработан положительный опыт создания зимних складов от 30 до 50 тыс. м³, что полностью оправдывалось с экономической точки зрения;

- c) Была организована сортировка осинового баланса на приемном столе производства щепы БХТММ и перевод брака на использование в системе производства крафт-целлюлозы. Нужно отметить, что переработка осинового баланса, поражённого гнилью, в крафт системе не вызывала больших проблем, т.к. большая часть гнили отсортировывалась во время подачи щепы пневмотранспортом и шла на сжигание в корьевого котел. Из той части щепы с гнилью, которая все-таки попадала на варку, гниль уходила в виде растворённых органических веществ в черный щелок и систему регенерации, не оказывая негативного влияния на станцию биологической очистки стоков;
- d) Была разработана система визитажа балансов и выпиливания пораженных гнилью сегментов только для сульфатной варки [17];
- e) Было проведено усовершенствование работы систем физико-химической и биологической очистки стоков БХТММ – решение проблемы отложения оксалатов в теплообменных аппаратах и снижения температуры стоков, осуществлено применение активного ила для коагуляции и обезвоживания осадка, создание буферного бассейна для эквализации стоков, применение коагулянтов для управления уровнями осветленной воды во вторичных отстойниках, изменение схемы подачи конденсатов с выпарных станций на аэрацию и многое другое. Важно отметить, что станция биологической очистки сегодня работает с эффективностью, близкой к 100%.

В результате всех выполненных работ, в настоящее время и предприятие, и наука имеют значительный накопленный опыт в практическом использовании осины на Светогорском ЦБК для производства полуфабрикатов высокого выхода, в частности химико-термомеханической массы (ХТММ) и беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) и её использования в инновационных, высокотехнологичных видах готовой продукции – офисной бумаги А3-А4 для копировальных машин и принтеров и картона для упаковки жидких продуктов.

Учитывая, что предприятие по воздействию на окружающую среду находится в списке 300 крупнейших, и готовится к получению комплексного экологического разрешения и поэтапному переходу к НДТ для ЦБП, ведется большая работа по моделированию процесса очистки стоков и перспективным инвестициям. Изучается опыт концентрации и сжигания стоков БХТММ в системе регенерации производства крафт-целлюлозы, обработка стока кислородом, объединение систем аэрации стоков и многое другое.

Следует особо отметить, что осиновая БХТММ за счет наличия в массе жестких, неразорванных волокон придает очень важные свойства офисной бумаге – придает ей пухлость, то есть большой удельный объем, и, как следствие, жесткость, а также непрозрачность - за счет большого количество мелочи на поверхности, которая хорошо рассеивает свет, в отличие от химической древесной целлюлозы, волокна которой мягкие и гибкие, прозрачные, хорошо рассеивают свет.

Технология производства бумаги с использованием осиновой БХТММ позволяет добиться снижения воздействия на окружающую среду, включая сокращение углеродного следа и выбросов в атмосферу. Применение БХТММ обеспечивает более бережное и рациональное использование лесных ресурсов и, одновременно, снижает «углеродный след» продукции.

Для приближенного расчета сокращения углеродного следа можно наметить основные направления расчета:

- а) Сокращение возраста рубки, который составляет для осины – от 40 лет; для березы – от 60 лет, для сосны – от 80 лет.
- б) Снижение расхода древесины на получение волокнистых полуфабрикатов – с 4,2 м³ /тонну для лиственной целлюлозы до 2,7 м³ /тонну для осиновой блененной ХТММ.
- с) Снижение расхода волокнистого сырья за счет увеличения пухлости - снижения объемного веса при использовании БХТММ в композиции.

- d) Улучшение качества лесов Северо-Запада России за счет извлечения из них и переработки осиновой древесины, пораженной прижизненной гнилью.

Говоря о перспективах использования осины или «тополя дрожащего» можно заключить, что потенциал этой породы древесины еще полностью не использован в промышленном и экологическом отношении, и здесь будет важен опыт других стран. Например, опыт Бразилии, где десятилетиями идет работа над выведением различных клонов эвкалипта, с максимальной скоростью роста, устойчивого к болезням и вредителям, наибольшей плотностью и максимальным выходом целлюлозы, по использованию компоста осадка предприятий для удобрения плантаций [1, 2].

Еще более интересен опыт Китая [8], где в последние десятилетия для научного обеспечения успешного опыта плантационного выращивания тополя, были проведены многоплановые исследования, которые показали, насколько перспективна эта порода, что и было подтверждено на практике. Китаю принадлежит самая большая площадь плантаций тополя в мире, составляющая 24,82% мировых площадей плантаций. Постоянное увеличение площади плантаций вносит значительный вклад в лесной покров Китая. На 2016 год в Китае работало 34 ЦБК и более 50 технологических линий по производству волокнистых полуфабрикатов мощностью более 10 млн. тонн в год. На половине этих линий производится беленая ХТММ из тополя или смеси тополя и эвкалипта.

Интересен также и опыт Китая по использованию тополя в агролесоводстве (agroforestry). Считается, что система агролесоводства как альтернативная система землепользования, при которой деревья и сельскохозяйственные культуры наилучшим образом используют ресурсы окружающей среды, т.е. воду, питательные вещества, солнечный свет, и т.д. Тополя обычно сажают на равнинных землях, что делает их основными породами деревьев, используемыми в системах агролесоводства в Китае. Целью исследований и практик является

создание высокоэффективных систем агролесоводства, которые сосредоточены не только на эффективности использования ресурсов (земли, воды, питательных веществ, солнечного излучения, т.д.), но также обеспечивают максимальную экономическую выгоду [28].

1.2.5 Получение технологической щепы из балансовой древесины осины, зараженной гнилью

В связи с тем, что на Северо-Западе РФ практически вся осина, в момент пуска производства БХТММ на Светогорском ЦБК, содержала большое количество гнили нами с коллегами был получен Патент РФ на Способ переработки зараженных гнилью балансов [17].

Способ относится к технологиям получения технологической щепы из балансовой древесины и может использоваться в целлюлозно-бумажной промышленности. Способ включает сортировку балансов с отбором дефектных, отделение от них тех частей ствола длиной 0,5-0,8 м, которые визуально определяются как зараженные гнилью. Эти части подвергают окорке и рубке на щепу в отдельном потоке. Щепу рубят и сортируют по программе в соответствии с заданными размерами щепы по длине и толщине. Затем всю щепу измельчают и сортируют с получением фракции, состоящей из приемлемой щепы в разделенном на продольные фрагменты виде, и фракцию, содержащую древесную мелочь и частицы гнили. Предложенный способ обеспечивает сокращение длительности обработки щепы и снижение энергозатрат в процессе переработки балансовой древесины.

Способ относится к технологиям получения технологической щепы из балансовой древесины и может использоваться в целлюлозно-бумажной промышленности.

Древесина на целлюлозные производства поступает в виде технологической щепы или в виде балансовой древесины. Балансы на бирже хранятся в штабелях или кучах под открытым небом, зачастую в течение двух,

трех и более лет. При длительном хранении балансы естественным образом загнивают, прежде всего, с торцов, а также при наличии глубоких повреждений стволов - в местах повреждений. Наиболее подвержены загниванию древесина осины, а также древесина лиственницы сибирской и даурской, возможно, вследствие аномально высокого - до 30% - содержания в последней полисахарида арабиногалактана. При переработке поврежденных гнилью балансов на щепу для получения волокнистых материалов высокого качества ее следует обрабатывать и сортировать с целью возможно большего удаления гнили.

Известна технология очистки древесной щепы от гнили, которую осуществляют в специальной установке. В этой технологии древесную щепу из питателя подают с водой в бункер-смеситель, из которого смесь подают в камеру дезинтеграции, где щепу обрабатывают высоковольтными импульсными электрическими разрядами. За счет высокого давления плазмы канала разряда в рабочей жидкости создается высокое давление, под действием которого обрабатываемая щепка раскалывается вдоль волокон, преимущественно по слабым, пораженным гнилью местам. Она при этом вымывается из материала древесины. Далее обработанную щепу сортируют, отделив гниль и получают кондиционный материал для варки волокнистых полуфабрикатов.

Недостатком способа являются сложность оборудования для его осуществления, высокий расход энергии.

Наиболее близким по технической сущности и назначению к предлагаемому изобретению является способ очистки щепы от гнили путем ее измельчения и последующего сортирования (а.с. 1542981, МПК D21В 1/02, опубл. 15.02.1990 г.). В способе щепу, нарубленную с расчетом на 20-миллиметровую длину, кондиционируют следующим образом. Сначала ее сортируют по длине. Щепу с длиной более 25 мм (верхний продукт) направляют на дополнительную рубку и затем всю щепу сортируют на

фракции 25-15, 15-10 и менее 10 мм, каждую фракцию отдельно сортируют по заданной толщине. Продукты, оставшиеся на сортируемом основании (верхние продукты второго сортирования), вновь сортируют по заданной толщине. Менее толстую щепу (отсев) с содержанием гнили 1-5% считают кондиционной и направляют в производство волокнистых материалов. Более толстую щепу во фракциях указанной длины (верхний продукт третьего сортирования), наиболее загрязненную гнилью, направляют на измельчение. Менее прочная гниль измельчается в большей степени, чем древесина. Измельченную щепу сортируют, отсеивая через сито с отверстиями 5 мм частицы гнили. Очищенный материал считают приемлемым и направляют в производство волокнистых полуфабрикатов.

В описании этого изобретения не указывается, что подлежащую очистке щепу готовят исключительно из заведомо зараженных гнилью частей балансов. Можно полагать, что обрабатывают всю щепу, полученную в совокупности из всего баланса, с пропорциональными объему щепы затратами времени и труда. Поэтому недостатками способа следует считать большую его длительность и значительную трудоемкость.

Новыми положительными результатами от использования изобретения являются сокращение длительности обработки щепы и снижение энергозатрат в процессе, поскольку кондиционированию по допустимому содержанию гнили в щепе подвергают лишь ту долю, которую получают из пораженных гнилью частей баланса. Эта часть составляет 20-30% всего объема получаемой из поврежденного баланса щепы. Кроме того, из процесса исключаются некоторые операции по размолу и сортированию.

Еще один положительный результат - это повышение степени полезного использования компонентов древесины путем утилизации гнили и пораженной гнилью древесной мелочи.

Указанные результаты достигаются тем, что в способе переработки зараженных гнилью балансов, включающем их окорку, рубку на щепу и

сортирование по программе в соответствии с заданными размерами по длине и толщине, повторную рубку части щепы, измельчение щепы и ее сортирование с получением продуктов, приемлемых для производства волокнистых полуфабрикатов, согласно изобретению перед окоркой от балансов отделяют пораженные гнилью торцевые части длиной 0,5-0,8 м, их окорку осуществляют в отдельном потоке, измельчению и сортированию подвергают всю щепу и получают фракцию, состоящую из приемлемой щепы в разделенном на продольные фрагменты виде и фракцию, содержащую древесную мелочь и частицы гнили, при этом срединные части балансов, не содержащие гнили, рубят на щепу в общем потоке перерабатываемых балансов. При наличии проникающей в ядровую древесину гнили в срединной части балансов пораженные доли ствола вырезают в виде чураков и перерабатывают на щепу совместно с торцевыми частями. Переработке подвергают балансы лиственницы сибирской и даурской и осины. Щепу измельчают в аппарате, выбранном из группы, включающей молотковый измельчитель, двухшнековый аппарат, дисковый дефибратор. Фракцию, содержащую древесную мелочь и гниль, направляют в производство ванилина.

Способ осуществляют следующим образом. При разборке штабелей и/или куч балансов отбирают балансы, поврежденные гнилью, от них отделяют торцевые части длиной 0,5-0,8 м, при наличии очагов гнили в срединной части вырезают их в виде чураков и создают заданный запас этого материала. Его перерабатывают в отдельном потоке. Куски балансов подвергают окорке в корообдирочном барабане. Под воздействием ударов, трения сдирается не только кора, но также с древесины стираются и осыпаются в виде пыли и крошек поверхностная и приповерхностная гниль и часть подгнившей древесины. Окоренный материал рубят на щепу в соответствии с заданной программой параметров по длине щепы, например, 20 мм, и толщине 5 мм. Щепу сортируют в соответствующих устройствах по

длине и толщине с получением верхнего продукта, среднего продукта - фракции щепы, не превышающей по размерам заданные программой параметры, и отсева в виде древесной мелочи и гнили с размерами частиц менее 5 мм. Верхний продукт состоит из сучковой толстой щепы и щепы с длиной больше 20 мм. Его возвращают на рубку. Весь материал после этих операций подвергают измельчению в двухшнековом аппарате. Можно использовать также молотковый измельчитель или дисковый дефибратор. Измельченный материал сортируют с получением разделенной на продольные фрагменты приемлемой по размерам и содержанию гнили щепы, которую можно использовать для производства волокнистых полуфабрикатов. Содержание гнили в этом конечном продукте переработки балансов 1-4 (%) мас. %.

Отсев при сортировании состоит из мелочи подгнившей древесины и частиц гнили и пыли. Его объединяют с подобным ему материалом, появляющимся после первого сортирования.

Как известно, лигнин - один из видов сырья для получения ценного вещества - ванилина. Поэтому продукт, представляющий собой смесь древесной гнили и подгнившей древесины при содержании в смеси 75-85 мас. % лигнина, является очень удобным сырьем для получения упомянутого вещества.

Формула изобретения: Способ переработки зараженных гнилью балансов, включающий их окорку, рубку на щепу и сортирование по программе в соответствии с заданными размерами щепы по длине и толщине, измельчение части щепы и ее сортирование с получением продуктов, приемлемых для производства волокнистых полуфабрикатов, отличающийся тем, что перед окоркой от балансов отделяют пораженные гнилью торцевые части длиной 0,5-0,8 м, их окорку осуществляют в отдельном потоке, измельчению и сортированию подвергают всю щепу и получают фракцию, содержащую приемлемую щепу в разделенном на продольные фрагменты

виде, и фракцию, состоящую из древесной мелочи и частиц гнили, при этом срединные части балансов, не содержащие гнили, рубят на щепу в общем потоке перерабатываемых балансов.

1.3 Высокодисперсные минеральные наполнители для бумаги, способы их получения (GCC и РСС) и их влияние на свойства бумаги

Созданное в XXI веке на Светогорском ЦБК производство РСС (мела химически осаждённого – МХО) по тоннажу (80 тыс. тонн в год) занимает существенное положение в формировании материальных потоков на ЦБК, в общем материальном балансе комбината. Среди основных минеральных компонентов, используемых в производстве бумаги, можно назвать следующие: природный карбонат кальция **GCC**, химически осажденный карбонат кальция – **РСС** (или МХО - мел химически осажденный), каолин и тальк [50-62].

Наполнитель для офисной бумаги должен обладать высокой белизной и хорошей непрозрачностью - этим требованиям хорошо соответствует РСС с определенным размером частиц и их формой (Рисунок 1.22).



Рисунок 1.22 – Виды РСС с частицами разной формы

Осажденный карбонат кальция в офисных видах бумаги. Использование химически осаждённого мела как наполнителя при производстве бумаги придает ей специфические свойства, которые обеспечивают:

- максимальную непрозрачность;
- улучшение печатных свойств, что особенно важно при переходе на многоцветную печать;
- равномерность печати при скоростных способах её нанесения;

- снижение пылимости бумаги;
жесткость и гладкость, необходимую для переработки бумаги на машинах листовой резки и копировальных аппаратах.

Доля такого мела в композиции бумаги может составлять до 25 % от массы (веса), так как наполнитель с кристаллами скаленоэдрической формы хорошо удерживается волокном. Этот процент может быть и выше при применении на БДМ улучшенных систем удержания.

Использование РСС позволяет снизить производственные затраты, т.к. наполнитель доступен, дешевле целлюлозного волокна, позволяет значительно сократить выбросы CO_2 от известерегенерационных печей (ИРП). Возможно так же использование природного карбоната кальция (GCC), отдельно или в смеси с РСС, но, ввиду того что кристаллы имеют другую форму, использование может сокращать срок службы одежды и элементов бумагоделательных машин. GCC как правило используется для приготовления меловальных паст - для соответствующих видов бумаги и картона.

Процесс получения химически осажденного мела основан на приготовлении гидроксида кальция гашением негашеной извести и реакции гидроксида кальция с углекислым газом при определенных условиях для получения кристаллов нужных форм и размеров, от величины которых зависят его физико-химические свойства и область применения. Контроль за размером частиц мела химически осажденного и его качеством осуществляется с помощью тщательного мониторинга за параметрами реакции и введением специальных добавок. Этим добиваются получения мела химически осаждённого, в котором преобладают кристаллы скаленоэдрической формы (скаленоэдр - призма, состоящая из равных разносторонних треугольников). Негашёная известь из бункеров системой конвейеров подается в гаситель-классификатор, куда поступает вода для получения гидроксида кальция, который после фильтрации насосами откачивается в бак хранения. Из бака хранения гидроксида кальция суспензия с

содержанием определённого % лимонной кислоты насосами подается в реакторы-карбонизаторы, где происходит реакция с диоксидом углерода с образованием мела химически осажденного. Суспензия меловых частиц поступает в промежуточный бак хранения, откуда подается на сортировки и далее в процесс.

В производстве используются дымовые газы от известерегенерационных печей (ИРП). Газы проходят через систему охлаждения, где их температура снижается до 40 °С, очищаются и подаются в реакторы. Отходящие газы от реакторов-карбонизаторов отводятся в атмосферу:

Химические реакции получения РСС:



Карбонаты кальция, в том числе РСС, считаются нетоксичными. В США Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов подтвердило, что карбонат кальция является GRAS (общепризнанным безопасным). Если РСС соответствует определенным требованиям к чистоте, его можно использовать как прямую пищевую добавку, как лекарство или как непрямую добавку в изделия из бумаги, контактирующие с пищевыми продуктами. Подобные разрешения существуют во всем мире, где РСС широко используются в этих приложениях.

В процессе производства наполнителя возможно управление размерами и морфологией частиц, достигая определенных параметров качества конечной продукции – пухлости, воздухопроницаемости, непрозрачности и т.д.

Наиболее важные показатели качества наполнителя следующие:

Белизна, % не менее 93,0

Средний размер частиц, мкм 1,6 – 2,8

Удельная площадь поверхности частиц, м²/г - 4,5 – 9,5

pH 7,5 – 9,0

Общее содержание сухого вещества, %

16,0 – 20,0.

Различные формы позволяют РСС выступать в качестве функциональной добавки в герметики, клеи, пластмассы, резину, чернила, бумагу, фармацевтические препараты, пищевые добавки и многие другие области применения. Разработчик рецептуры может выбрать форму и физические свойства, вытекающие из этой формы, которые обеспечивают наилучшие характеристики при конечном использовании. В процессе РСС можно изготавливать изделия очень малых размеров, с большой площадью поверхности, высоким маслом поглощением и/или с разной насыпной плотностью порошка — от сверхнизкой до сверхвысокой плотности.

Для офисной бумаги РСС является не только добавкой, позволяющей экономить волокно, но и придающей определенные важные физические и оптические свойства. Без наполнителя невозможна переработка бумаги на скоростных листорезах для производства бумаги формата А3-А4 и скоростных копировальных аппаратах.

1.4 Выводы по литературному обзору и постановка цели и задач исследований

Хотя дефицит офисной бумаги на рынках РФ в марте 2022 года оценивался в 15 – 20 тыс. тонн, ситуация сложилась очень серьезная. Перед производителями встала трудная задача – не остановить производство, в кратчайшие сроки найти альтернативные варианты производства или источники поставок. Проведенный анализ литературы показал, что на ближайшие десятилетия офисная бумага

остаётся не заменимым элементом, важнейшей частью информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Таким образом, речь идёт не только о предотвращении останова градообразующего предприятия, что, с учетом принципов эколого-социальной ответственности бизнеса ESG (ESG = Экология-Environmental + Социальное развитие-Social + Корпоративное управление - Governance), практически исключено. С учётом того, что офисная бумага является важнейшей частью информационно-коммуникационных технологий, под угрозу поставлены все программы цифровизации РФ, включая такую социальную задачу, как проведение весной 2022 года в школах РФ выпускных экзаменов (Единый Государственный экзамен - ЕГЭ и итоговый экзамен за курс основного общего образования – ОГЭ).

Несмотря на пост-пандемийное падение спроса на белые бумаги в 2020-2021 годах, многие конечные потребители попали в не простые условия – государственные органы, здравоохранение, образование. Таким образом, возникла необходимость разработки нового вида продукции и переориентации крупного ЦБК на его выпуск; проблема, для решения которой в обычных условиях требуется несколько лет – изучение рынка, разработка технологии, маркетинг и железная воля руководства компаний.

С другой стороны, уход иностранных владельцев открывал «окно возможностей» - одним из принципов Компании владельца ЦБК был принцип «мы не экспериментальный полигон, мы сильны переносом опыта с передовых предприятий на остальные».

Однако, проводившиеся на протяжении длительного времени совместные исследования Кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ и Светогорского ЦБК в области биорефайнинга древесины и поэтапной эколого-технологическая реконструкция интегрированного ЦБК позволили за короткий срок поставить на производство новые виды продукции.

Для этого представлялось необходимым решить многие взаимосвязанные задачи:

- Исключить зависимость от импортных технологий и химикатов в условиях санкций и разрушения глобальных цепочек поставок;

- Оперативно изучить потребности рынка, выявить перспективные ниши и завоевать их;

- Совместить во времени важнейшие этапы разработки (НИР, ОКР, опытно-промышленные выработки, разработка дополнений к ГОСТ и ТУ и их утверждение в Росстандарте) с привлечением Университетской и академической науки и органов Государственной власти на уровне Минпромторга РФ и отраслевой ассоциации РАО Бумпром;

- Осуществить постановку на производство нового вида продукции, решая одновременно и задачи снижения «углеродного следа» и поэтапного перехода к углеродной нейтральности;

- Обеспечить повышение конкурентоспособности и устойчивости целлюлозно-бумажной продукции РФ за счет создания и совершенствования технологий, направленных на рациональное и эффективное использование природных и промышленных ресурсов и сохранение ценных пород древесины;

- Защитить на уровне международных организаций (ФАО ООН/ЕЭК ООН) обоснованность перевода на необходимый и достаточный уровень белизны офисной бумаги новых её марок, имеющих пониженный «углеродный след».

По нашему мнению, обеспечение технологического суверенитета при производстве офисной бумаги далеко выходит за рамки решения проблем города Светогорска. Офисная бумага является одной из основ цифровизации всей страны.

С учетом принципов ESG, Светогорский ЦБК не только внедрил наилучшие доступные технологии (НДТ), но и впервые в мире, на основе проводившихся на протяжении длительного времени совместных исследований Кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ и Светогорского ЦБК в области биорефайнинга древесины и поэтапной эколого-технологической реконструкции интегрированного ЦБК, создал и реализовал технологию

полностью бесхлорной отбели при производстве офисной бумаги из частично белёной целлюлозы. Доклад об этом был опубликован [13] в ноябре 2023 года в Женеве (Rybnikov O., Grishin A., Akim E. Carbon footprint 60-65 ISO Brightness - copy paper made from unbleached hardwood pulp and aspen Bleached Chemical-Thermomechanical Pulp (BCTMP). In the book: «Circularity concepts in the pulp and paper industry». UNITED NATIONS, Geneva, 2023, p.103-104).

2 Методическая часть

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования являлись образцы не белёной, частично белёной лиственной и хвойной целлюлозы, БХТММ, образцы офисной бумаги, как серийно выпускавшейся на Светогорском ЦБК, так и поставленной на производство в ходе данной работы. Для опытно-промышленной выработки, проводившейся в период с марта по декабрь 2022 года, осуществлялся статистический анализ основных показателей качества. Его результаты легли в основу дополнений к стандартам на офисную бумагу [63].

Основной эксперимент в данной работе проводился на БДМ №4 в Светогорске. Производительность данного технологического потока в настоящее время — 400 тыс. т/г., обрезная ширина бумаги на БДМ— 8550 мм, рабочая скорость — 1250 м/мин. Объектами исследования в промышленных условиях являлись волокнистые полуфабрикаты с трех технологических потоков производства НПАО «Светогорский ЦБК» (хвойной небеленой целлюлозы –в 2023 году, лиственной небеленой целлюлозы и беленой химико-термомеханическая массы - БХТММ из осиновой древесины), а также минеральный наполнитель – осажденный карбонат кальция (РСС). В качестве минерального наполнителя использовали наполнитель – осажденный карбонат кальция РСС - 23%; при этом общее содержание волокнистых полуфабрикатов снижается до 77% (по волокну -70% лиственная частично беленая; 30% БХТММ).

Для достижения необходимых качественных показателей по толщине и шероховатости дозировка ХТММ поддерживалась на уровне 30% (в зависимости от белизны), при этом максимальная дозировка составляла 33%.

2.2 Пилотная варочная установка кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ

Совместная варка древесины березы и осины проводилась на оригинальной пилотной установке Кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ (Рисунок 2.1), имеющей систему принудительной циркуляции и систему автоматизации, аналогичную промышленным системам Светогорского ЦБК.



Рисунок 2.1 – Пилотная варочная установка кафедры Технологии целлюлозы и композиционных материалов ВШТЭ

Как уже отмечалось выше, важнейшей стадией получения бумаги ЭКО является получение частично беленой лиственной целлюлозы путем совместной варки древесины березы и осины, с последующей кислородно-щелочной обработкой [11-14]. Эти две породы древесины имеют существенные отличия. Основные различия заключаются в плотности древесины и их структуре. В связи с этим для изучения влияние совместной варки на глубину провара, на показатель водоудержания, а также на морфологические свойства волокна на пилотной установке Кафедры ТЦКМ проводилась варка на оригинальной лабораторной

варочной установке (Рисунок 2.1), имеющей систему принудительной циркуляции и оригинальную трёхъярусную вставку (Рисунок 2.2) [64].

В качестве лабораторного режима варки был взят технологический режим, аналогичный технологическому регламенту производства целлюлозы на Светогорском ЦБК. Для чистоты эксперимента варочного процесса, первоочередной задачей представлялось разделение технологической щепы на березовую и осиновую. Для этого использовалась варочная корзина с разделителями [64]. Это позволило выполнить варку щепы березы, осины и смеси параллельно, т.е. ярусно при соблюдении одинаковых условий.

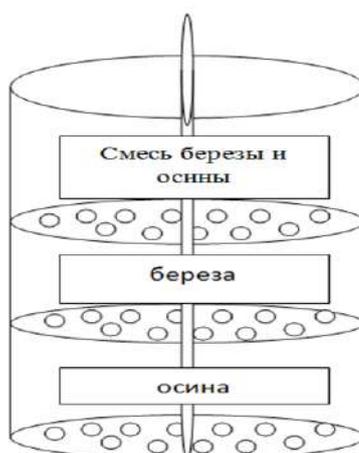


Рисунок 2.2 – Оригинальная трёхъярусная вставка в пилотную варочную установку

Разделение щепы перед варкой производилось визуально, с использованием для окраски раствора NaOH при $C\% = 4\%$ [65]. Щепа осины и березы после обработки раствором приобретали характерный цвет. Щепа березы окрашивается в коричневый, а щепа осины - в светло-желтый цвет (рисунок 2.3). Для варочного процесса щепа была уложена в три слоя (рисунок 2.2):

- нижний слой (1 слой) – 100% осина;
- средний слой (2 слой) – 100% береза;
- верхний слой (3 слой) – 15% осины и 85 % березы.



Рисунок 2.3 – Разделение щепы по цвету

Необходимые навески щепы были помещены в варочную корзину [63].

Для полученного полуфабриката определялись жесткость (ед. Каппа), показатель водоудержания. Кроме того, был проведен анализ структурно – морфологические характеристик волокон на приборе Морфи.

После этапа пропарки при температуре 120°C, конденсат, образовавшийся в результате пропаривания, выводился из системы. Затем в котел производилась заливка варочного раствора. Нагрев варочного раствора осуществляется постепенно. Сначала идет нагрев до 107°C, для моделирования промышленного режима варки, затем температура повышается до 125°C, после чего выполняется стоянка при этой температуре (пропитка). Далее температура повышается до 160°C и проводится стоянка при этом значении, что является непосредственно варкой.

Чтобы постепенно остановить процесс варки, циркулирующий раствор охлаждается с помощью теплообменника до 40-65°C. В завершение всех этих этапов осуществляется отбор щелока из котла и промывка целлюлозы. Промывка проводится на сеточном промывном устройстве. На верхнем сите остается непровар, а необходимые волокна проходят через верхнее сито с отверстиями диаметром 1 мм и затем подвергаются отжиму.

После варочного процесса определяется степень делигнификации, а также определяется водоудерживающая способность (Таблица 2.1).

Отливки из целлюлозы лабораторных варок приготавливались стандартными методами на усовершенствованном аппарате Рапид-Кеттен [66]. Исследования физико-механических свойств бумаги и отливок из целлюлозы варок на пилотной установке проводились стандартными методами [67-69]. Водоудержание по Джайме определялось центрифугальным методом.

Как видно из представленных в таблице данных, при совместной варке осиновая щепка проваривается глубже – число Каппа на четыре-пять единиц меньше, чем у березовой не беленой целлюлозы. Это, безусловно сказывается на производстве при последующей кислородно-щелочной обработке. Обращает на себя внимание большое различие в водоудержании осиновой и березовой не беленой целлюлозы. Это вопрос имеет право на более детальное исследование.

Таблица 2.1 – Сравнительная таблица показателей

Наименование показателя	1 варка			2 варка			3 варка		
	Смесь	осина	береза	смесь	осина	береза	смесь	осина	береза
Жесткость, ед. Каппа	16,1	11,9	16,3	18,3	11,3	18,3	17,2	12,0	16,9
Выход, %	45,9	41,1	46,5	50,3	46,6	46,9	46,2	44,3	45,8
Непровар, %	0	0	0	0	0	0,9	0,2	0	0,3
Водоудержание по Джайме, %	426	221	559	525	147	718	515	178	682

2.3 Анализ морфологии волокон на компьютеризированной установке Морфи-Компакт

Анализ морфологии волокон, из которых проводилось формирование бумаги на БДМ, а также волокон лабораторных варок осуществлялся на анализаторе Морфи-Компакт (Рисунок 2.4), представляющим собой современный компьютеризированный анализатор волокон.

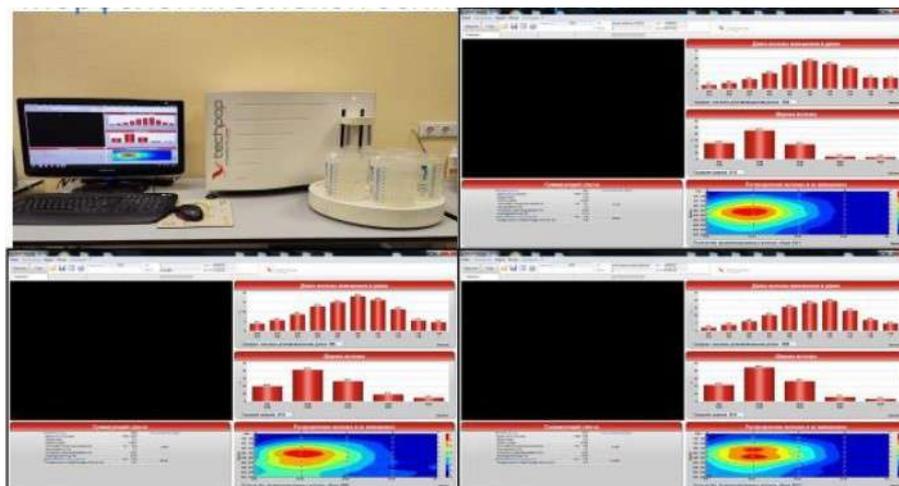


Рисунок 2.4 – Анализатор морфологии волокон Морфи-Компакт и типичные картины получаемых результатов

В нем ламинарный поток разбавленной суспензии волокон проходит между двумя стеклянными пластинами с динамическим зазором, с микроскопическим анализом суспензии и компьютерной обработкой результатов измерений. На основании компьютерной обработки полученных результатов получены гистограммы распределения волокон по длине и ширине и двумерные картины, иллюстрирующие особенности морфологической структуры используемых волокнистых полуфабрикатов (Рисунок 2.4). Двумерные изображения позволяют отдельно измерить длину волокна и деформацию, при хорошей ориентации волокна в плоскости.

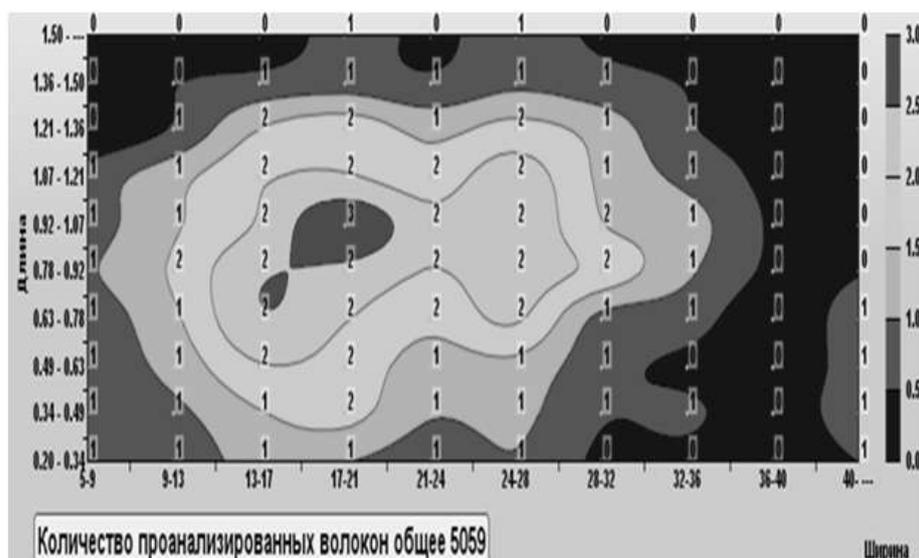


Рисунок 2.5 – Двумерная черно-белая картина, иллюстрирующая особенности морфологической структуры используемых волокнистых полуфабрикатов

Полученные образцы целлюлозных волокон были изучены на морфологическую структуру при помощи анализатора волокна MorFi. Данные сведены в таблицы 2-4.

Таблица 2 – Структурно-морфологические характеристики волокон березы

Характеристики	1 варка	2 варка	3 варка
Длина волокон, мм	0,910	0,898	0,872
Ширина волокон, мкм	21,9	21,9	20,4
Угол изгиба	133 °	135 °	132 °
Скручиваемость волокон, %	6,2	6,4	6,6
Процент от площади мелочи, %	5,59	5,01	4,91
Грубость, мг/м	0,1539	0,0759	0,0942

Таблица 3 – Структурно-морфологические характеристики волокон осины

Характеристики	1 варка	2 варка	3 варка
Длина волокон, мкм	0,873	0,748	0,832
Ширина волокон, мкм	24,1	23,7	22,4
Угол изгиба	132 °	131 °	130 °
Скручиваемость волокон, %	6,6	7,6	7,0
Процент от площади мелочи, %	5,28	5,78	5,31
Грубость, мг/м	0,1561	0,0750	0,0980

Таблица 4 – Структурно-морфологические характеристики смеси волокон

Характеристики	1 варка	2 варка	3 варка
Длина волокон, мм	0,880	0,869	0,808
Ширина волокон, мкм	22,6	22,4	22,8
Угол изгиба	132 °	133 °	136 °
Скручиваемость волокон, %	6,6	6,6	7,3
Процент от площади мелочи, %	4,36	4,91	3,44
Грубость, мг/м	0,1525	0,0742	0,0909

Варка щепы проводилась в соответствии с технологическим регламентом, приближенным к заводскому. Один из важных аспектов исследования был связан с анализом морфологического состава полученного полуфабриката. Он позволяет определить размеры и структуру волокон, что является важным фактором при использовании полуфабриката в производственных процессах.

Результаты исследования позволяют более точно подбирать соотношение технологической щепы березы и осины для использования в различных отраслях промышленности, а также оптимизировать процессы производства целлюлозы. Одним из немаловажных наблюдений в данном исследовании было то, что щепка осины при одинаковых технологических условиях проварилась более глубоко, чем березы. Это видно из показателя степени делигнификации целлюлозы.

2.4 Методы оценки качества офисной бумаги

Офисная бумага — это высоко технологичный продукт, имеющий большое количество свойств, необходимых для выполнения бумагой своих функций. Каждый производитель имеет свои know-how, более того, многие глобальные производители как Хероx, HP, Canon создали свои системы сертификации производителей, и имеют запатентованные технологии, улучшающие цветопередачу на отпечатке, например, технология Color Lock — добавки коагулянта в поверхностный крахмал.

Требования к качеству офисных бумаг определяются Российским ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия» [70] и международными стандартами (ISO 20494:2017) [71].

Требования к качеству основаны на необходимых физических свойствах бумаги для использования в различных типах копировальных устройств для обеспечения необходимого качества различных способов печати, скорости, надежности техники, сохранности **«и распространяется на бумагу ксерографическую для офисной техники (далее — бумага), предназначенную для черно-белой и цветной печати на принтерах матричных, струйных, лазерных, факс-аппаратах и копирования на множительной технике, в том числе в режиме двухсторонней печати (дуплекс), а также для печатания издательской продукции».**

2.4.1 Физические параметры офисной бумаги

Базовый вес, $[г/м^2]$, метрическая система для определения массы квадратного метра. Меньший вес как правило определяет меньшую жесткость и непрозрачность бумаги. Базовый вес определяется более важным параметром — толщиной бумаги, под которую проектируется подающий механизм офисной техники. Стандартным является вес 75-80 $г/м^2$ для регулярных сортов, и выше для высококачественных бумаг.

Толщина, [мкм], толщина листа бумаги, измеренная микрометром. Зависит от содержания влаги в бумаге и давления, оказываемого на прессовые захваты мокрой части и каландровых валов. Особенно важна для правильной подачи листов бумаги в копировальный аппарат, их прохождения через механизмы протяжки, выдачи, формирования и т.д. Вариации толщины в машинном и поперечном направлении могут вызвать проблемы с заторами, волнистостью, смещением печати или захватом нескольких листов. При одинаковом граммаже более толстый лист обычно более шероховатый и жесткий.

Гладкость, [с], определяется на приборе Bekk 58-05-00-0002 — определитель плоскостности и ровности поверхности листа. Обычно определяется с помощью прибора, который измеряет время, необходимое для того, чтобы заданный объем воздуха протекал между поверхностями образца бумаги и куска оптически плоского стекла при стандартных условиях нагрузки. Чем выше значение, тем более гладким будет лист. Текстурированная бумага приводит к неоднородным цветам или пятнам и может привести к образованию складок на термоэлементе. Слишком гладкая глянцевая бумага имеет тенденцию подчеркивать дефекты и может не удерживать тонер.

Шероховатость, [мл/мин], определяется на приборе Bendtsen Tester SE 164 — определитель текстуры поверхности бумаги. Бумага с низкой шероховатостью (гладкая) позволяет печатать более мелкие детали. Бумага с высокой шероховатостью придает бумаге тактильные качества. Прибор измеряет воздушный поток под металлическим кольцом, помещенным на поверхность бумаги. Если поверхность шероховатая, выходит больше воздуха, и вы получаете более сильный воздушный поток. Чем выше число, тем грубее лист.

Воздухопроницаемость, [мл/мин], прибор Air Permeance Tester SE 166 — степень плотности прилегания волокон и наполнителя в листе бумаги, измеряется сопротивлением прохождению воздуха через лист. Метод Бендстена измеряет скорость, с которой воздух проходит через лист бумаги при заданном давлении. Высокая пористость указывает на то, что бумага позволяет воздуху проходить

относительно легко. В некоторых случаях может потребоваться низкая пористость, например, если принтер использует вакуум для подачи; бумага с низкой пористостью лучше работает с вакуумными системами.

Объемный вес (пухлость) — расчётный параметр, параметр качества, представленный числом, полученным путем деления толщины на массу метра квадратного, т. е. объёмный вес. Большой объем имеет меньшую плотности и большую пористость; бумага с малым объемом более плотная. Как правило пухлость достигается за счет использования листового волокна или БХТММ, меньшей нагрузки в прессовых захватах БДМ; наполнитель (РСС) за счет размера частиц может увеличивать пухлость до определенного предела в композиции. Более пухлая бумага имеет большую жесткость и позволяет экономить волокно, достигая требуемой толщины при меньшей массе квадратного метра.

Жесткость при изгибе, (mN), прибор Bending Stiffness Tester SE — определяет способность бумаги или картона сопротивляться приложенной изгибающей силе и выдерживать собственный вес при манипулировании. Слишком мягкий лист может вызвать проблемы с подачей и протяжкой в копировальных аппаратах и принтерах. Адекватная степень жесткости важна, чтобы избежать деформации бумаги из-за вытягивания краски во время офсетной печати. Жесткость имеет решающее значение для многих видов финишной переработки бумаги – резки, намотки, складывания и т.д.

Поверхностная проклейка, [g/m²], прибор Cobb Sizing Tester SE 146 — мера того, сколько воды впитается в бумагу в граммах на квадратный метр в минуту. Если у вас есть лист бумаги плотностью 80 г/м², а его плотность по Коббу составляет 20–30 г/м², это означает, что за минуту в бумагу впитается 20–30 г воды. Данный тест определяет, насколько быстро жидкости, такие как чернила и клей, впитываются в бумагу.

Внутренняя проклейка HST, [seconds], прибор Hercofinn Sizing Tester — мера сопротивления бумаги проникновению жидкостей (особенно воды) или паров. Тест использует коэффициент отражения света для измерения

проникновения цветных чернил через образец. Этот метод применим для большинства беленых, небеленых и цветных бумаг. Проклейка, обычно в виде крахмала, добавляется в бумагу для контроля проникновения чернил или воды, сопротивления выщипыванию, стабильности размеров и гладкости поверхности. Внутренняя и поверхностная проклейки кроме устойчивости к влаге, уменьшают пылимость, что важно для флексо- и офсетной печати. Чрезмерная проклейка может приводить к загрязнению клеем механизмов копировальных машин и лазерных принтеров, работающих с нагревом наносящих валов.

Зольность Ash Content 550°C, [%], минеральный остаток, остающийся после сжигания образца бумаги для определения процентного содержания содержащегося в нем наполнителя, указывается как основа, прокаленная в печи (однако ниже температуры разложения карбоната кальция). Наполнители добавляются в бумагу для улучшения печатных свойств за счет увеличения непрозрачности, улучшения восприимчивости краски, улучшения формирования листа и улучшения отделки каландрированной бумаги. Однако слишком большое количество наполнителя может снизить прочность бумаги или привести к чрезмерному пылению во время обработки и печати. В малозольной бумаге больше натурального волокна, высокозольная бумага дешевле. В настоящее время технология удержания наполнителя позволяет удерживать зольность до 25% и выше, 22-23% является оптимальной.

Влажность — количество воды в бумаге, выраженное в процентах. Количество воды в листе бумаги влияет на плотность, физическую прочность, стабильность размеров, способность к печати и пригодность для печати. Влажность играет важную роль в операциях каландрирования и нанесения покрытий. Потеря влаги на краях бумаги может привести к ее искривлению, сморщиванию или образованию складок. Поглощение влаги по краям или внутри листа может вызвать волнистость и складки, а также сморщивание бумаги, что может привести к появлению пропусков при печати. Чтобы избежать этих проблем, большинство сортов бумаги для лазерных принтеров/копировальных

аппаратов производятся с определенным содержанием влаги и упаковываются во влагонепроницаемую обертку. Чрезмерно сухая бумага может образовывать статическое электричество, что негативно сказывается при переработке и работе печатной техники, слишком влажная – подвержена короблению и скручиваемости.

Удельное сопротивление поверхности [Ω] и *объёма* [$\Omega \times \text{ст}$] определяется на приборе Keithley 6517A — электрический параметр, характеризующий, как лист бумаги принимает и удерживает заряд. Многие лазерные принтеры используют электрический заряд для формирования печатного изображения, поэтому электрические свойства листа важны для общего процесса формирования изображения. Факторами, влияющими на удельное сопротивление, являются содержание влаги, состав бумаги, а также температура и влажность окружающей среды, в которой находится бумага.

Пылимость (Dusting Friction), [index], измеряется на приборе с использованием черного текстильного материала, на котором осаждаются частицы бумаги — склонность бумаги оставлять частицы волокон и наполнителей на поверхности оборудования. Это может быть особенно проблематично для качества печати и загрязнения пылью копировальных машин. Некоторые общие стратегии для оценки значимости проблемы включают протирание продукта черной тканью или выполнение операции, эквивалентной чистке пылесосом поверхности бумаги и сбору пыли на фильтровальной бумаге. Для решения проблем, связанных с пылью или ворсом, рекомендуется сначала проанализировать незакрепленный материал на бумаге. Пыль может включать фрагменты волокон, частицы смолы, проклеивающий материал, крахмал клеильного пресса, наполнители и различные другие материалы.

Просвет Kajaani, [index], прибор Kajaani Formation Analyzer — определяет, как распределяются волокна и частицы наполнителя в бумажном листе, располагаются и перемешиваются для обеспечения однородности на просвет. Области с наибольшей плотностью часто называют флокулами, а области с

меньшей плотностью — пустотами. Многие свойства бумаги зависят от формирования бумаги на сеточной части БДМ. Плохо сформированный лист повлияет на толщину, непрозрачность, прочностные свойства и приведет к неоднородному качеству печати. Как правило, просвет в первую очередь зависит от природы волокна, короткое листовое волокно дает хороший просвет. На просвет так же влияет подготовка и размол волокнистой массы и формирующая часть БДМ.

2.4.2 Оптические характеристики бумаги

Белизна бумаги — показатель, играющий большую роль в качестве конечной продукции. Для определения белизны бумаги и картона используют различные стандартные методы как международные, так и российские.

Оптические характеристики бумаги и картона (белизна, яркость, коэффициент преломления, цветовые параметры) зависят не только от природы ингредиентов, но также от их количества и соотношения в композиции бумаги, однородности их распределения по толщине листа и многих других факторов. Оценка оптических свойств бумаги и картона основывается главным образом на измерении диффузного отражения и энергетической яркости.

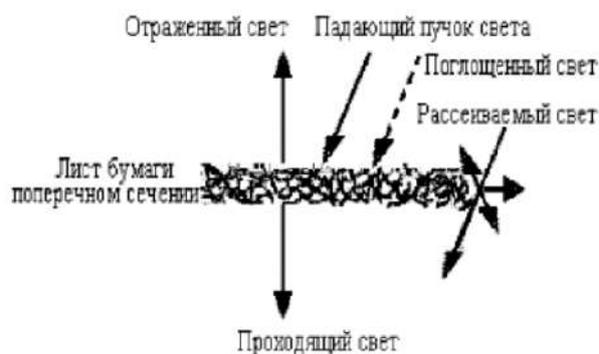


Рис. 1 Принцип измерения белизны

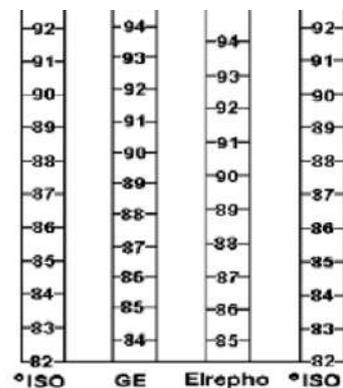


Рис.2. Монограмма белизны

Рисунок 2.6 – Принцип измерения белизны

Белизна – комплексное свойство визуального ощущения, характеризующее степень приближения предмета к белому по силе его повышенной яркости, высокой рассеивающей способности и минимальному цветовому оттенку. Для оценки белизны наибольшее распространение получили следующие характеристики: белизна ISO (Brightness) как коэффициент отражения волн в диапазоне 457 нм; белизна CIE (Whiteness), рассчитанная по координатам цветности; яркость CIE, определяемая в координатах цветности L, a, b. Белизну бумаги можно определять различными методами: методом определения белизны по CIE в условиях освещения от различных источников света (ГОСТ Р ИСО 11475, 11476 – 2010) и методом определения белизны по ISO (ГОСТ 30113 – 94 (ИСО 2470 – 77)). Отличие этих методов заключается в измерении коэффициента диффузной энергетической яркости бумаги в полной видимой области спектра (белизна по CIE) и в синей области спектра при эффективной длине волны 457 нм (белизна по ISO).

Таблица 2.1 – Диапазоны длин волн, соответствующие разным цветам спектра

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон энергий фотонов, эВ	Диапазон частот, ТГц
Красный	780 – 625	1,59 – 1,98	385 – 480
Оранжевый	625 – 590	1,98 – 2,10	480 – 510
Жёлтый	590 – 565	2,10 – 2,19	510 – 530
Зелёный	565 – 500	2,19 – 2,48	530 – 600
Голубой	500 – 485	2,48 – 2,56	600 – 620
Синий	485 – 440	2,56 – 2,82	620 – 680
Фиолетовый	440 – 380	2,82 – 3,26	680 – 790

Белизна по ISO (Brightness) является показателем качества света – показывает, как свет отражается в пределах синей области спектра. Измерение белизны бумаги и картона производят с помощью фотометров и спектрофотометров путем сравнения с эталонным образцом [5]. В качестве образцового средства измерений коэффициента диффузного отражения используют набор образцовых мер, состоящих из стандартных образцов, имеющих номинальные значения диффузного отражения от 60 до 95 %, аттестуемые с помощью государственного специального эталона единиц координат цвета и координат цветности. Исходный эталонный образец – свежеприготовленные таблетки, полученные путем прессования из порошка сернокислого бария по ГОСТ 3158–75 или пластины из отражающего нейтрального стекла, которое диффузно отражает все падающие на него лучи света. В соответствии с действующим в России стандартом ГОСТ 30113–94 белизна может превышать 100 %.

При измерениях белизны (как и при других цветовых измерениях) важно указывать источник освещения, при котором проводятся измерения. На практике используются следующие источники освещения: А, В, С, D65. Источник А воспроизводит условия среднего искусственного освещения электрическими лампами накаливания, В соответствует норме прямого солнечного света, С – флуоресцентной ртутной лампе, D65 – дневному свету. Разница, полученная при измерениях с источником D65 и А, дает величину прироста белизны, полученную за счет оптически отбеливающих веществ [1].

Белизна по ИСО базируется на измерении отражения света белыми или почти белыми бумагами с одной длиной волны (ГОСТ предусматривает 457 нм, т.е. в синей части видимого спектра) и определяется как отношение количеств упавшего и распределенно отраженного света (%).

Белизна CIE (Whiteness) рассчитывается по координатам цветности и координатам цвета. Значение CIE позволяет оценить степень белизны образца, содержащего оптически отбеливающие вещества и элементы оттеночного

красителя, достаточно точно коррелирует с глазом человека, и поэтому является одним из лучших методов оценки белизны. Однако эта система имеет ряд недостатков. Так, в качестве официального метода она может использоваться только при условии применения одного спектрофотометра, что ограничивает область его применения. Кроме того, измеряемый образец должен иметь высокую степень белизны. Темно-голубой оттенок завышает значения показателя CIE (например, при оценке газетной бумаги получаются ошибочные результаты). Существует свыше десяти систем оценки цветовых характеристик. Международная комиссия по освещению (CIE) рекомендует для оценки оптических свойств объектов систему CIE Lab. В этой системе L – яркость, а и b – координаты цветности (a – содержание красного-зеленого; b – желтого-синего). Для расчета величины белизны бумаг и картона CIE предложила следующую формулу:

$$W=Y+800(xn-x)+1700(yn-y) \quad [2.1]$$

Y – трех-стимульное значение образца; x и y координаты его цветности; n x и n y координаты цветности идеального отражающего рассеивателя.

При вычислении белизны по CIE отсутствует сравнение с эталонным образцом, в качестве единственного опорного значения в формуле (2.1) присутствует яркость и цветовые координаты источника освещения и образца. Белизна по CIE является безразмерной величиной и выражается в единицах белизны.

L* Координата цвета - альтернативная мера яркости, варьирующаяся от 100 для идеального белого до 0 для абсолютно черного. Класс бумаги для копирования обычно может быть около 93.

• a* Координата цвета - мера того, насколько зеленым или красным является лист бумаги. Нулевое значение не является ни зеленым, ни красным. Чем больше положительное число, тем краснее становится бумага. Чем больше отрицательное число, тем более зеленой становится бумага (класс копий обычно 2,5-3,5).

- b^* Координата цвета - мера того, насколько синий или желтый лист бумаги. Нулевое значение не является ни синим, ни желтым. Чем больше положительное число, тем желтее становится бумага. Чем более отрицательным становится число, тем более синей становится бумага (оценка копирования на негативе обычно составляет около «-12»).

- Непрозрачность (на основе ISO 2471) - свойство бумаги, сводящее к минимуму просвечивание печати с противоположной стороны или соседнего листа. На непрозрачность большое влияние оказывает базовый вес, яркость, оттенок, тип волокна и наполнителя, размол. Высокая непрозрачность важна для большинства видов бумаги для печати и офисной бумаги, чтобы гарантировать, что печать с противоположной стороны листа не будет видна, а печать с отпечатанного листа ниже не будет видна. Непрозрачность — это показатель прозрачности или количества света, проходящего через лист бумаги. Это важное свойство для страниц, напечатанных с обеих сторон, таких как книги, журналы или конверты.

Все оптические параметры офисной бумаги определяются на приборе Elrepho SF 450:

- Белизна ISO – в соответствии с ГОСТ 30113-94 [72] - это измерение коэффициента отражения листа бумаги в синей области спектра на основе беленой целлюлозы без участия оптического отбеливателя;

- Белизна CIE - всемирно признанный стандарт белизны бумаги, разработанный в Европе Centre Internationale d'Eclairage (CIE). Он пытается сопоставить то, как люди воспринимают белый цвет, измеряя отражательную способность бумаги со смещением в сторону синей области спектра, поскольку голубовато-белый цвет обычно воспринимается как более белый, чем нейтральный белый. Идеально белая поверхность отражает весь падающий на нее свет и имеет белизну 100. Многие сорта бумаги имеют белизну значительно выше

100 благодаря добавлению оптических отбеливателей. Они поглощают ультрафиолетовый свет, а затем излучают его в виде синего света;

- L^* Координата цвета - альтернативная мера яркости, варьирующаяся от 100 для идеального белого до 0 для абсолютно черного. Класс бумаги для копирования обычно может быть около 93;

- a^* Координата цвета - мера того, насколько зеленым или красным является лист бумаги. Нулевое значение не является ни зеленым, ни красным. Чем больше положительное число, тем краснее представляется бумага. Чем больше отрицательное число, тем более зеленой становится бумага (класс копий обычно 2,5-3,5).

- b^* Координата цвета - мера того, насколько синий или желтый лист бумаги. Нулевое значение не является ни синим, ни желтым. Чем больше положительное число, тем желтее представляется бумага. Чем более отрицательным становится число, тем более синей становится бумага (оценка копирования на негативе обычно составляет около «-12»).

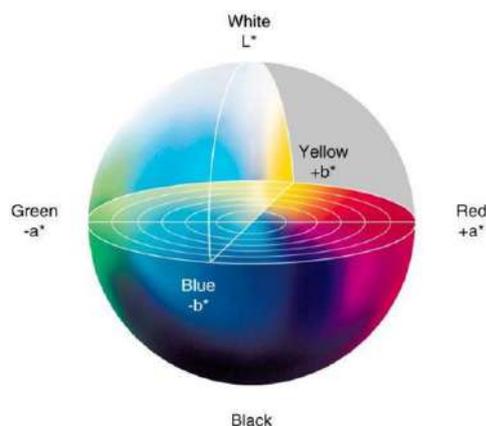


Рисунок 2.7 – Координаты цвета

Непрозрачность (на основе ISO 2471) - свойство бумаги, сводящее к минимуму просвечивание печати с противоположной стороны или соседнего листа. На непрозрачность большое влияние оказывает базовый вес, яркость, оттенок, тип волокна и наполнителя, размол. Высокая непрозрачность важна для большинства видов бумаги для печати и офисной бумаги, чтобы гарантировать, что печать с противоположной стороны листа не будет видна, а печать с

отпечатанного листа ниже не будет видна. Непрозрачность — это показатель прозрачности или количества света, проходящего через лист бумаги. Это важное свойство для страниц, напечатанных с обеих сторон, таких как книги, журналы или конверты.

Дополнительные параметры для бумаги, используемой для порошковых лазерных принтеров:

- Скручивание перед печатью (согласно ISO 14968). Отклонение от плоской поверхности, которое имеет три основных компонента: величину, направление оси скручивания и сторону, в которую скручивается бумага. Измеритель скручиваемости строится путем рисования на листе подходящего размера ряда дуг заданного радиуса с центрами кривизны, параллельными стороне с меньшим размером. Радиусы акр (мм) соответствуют величине завихрения (м-1) Допустимый диапазон: $MD \leq 2,0$; $КД \leq 1,25$.

- Истирание Табера (на основе TAPPI T476). целью этого метода является определение стойкости поверхности бумаги к истиранию путем измерения потерь на истирание. Измерение потерь на истирание является довольно сложным и включает в себя множество факторов, включая тип волокна, структуру материала и любые используемые добавки или связующие вещества. Испытание не применимо к поверхностям, обработанным воском или подобными материалами, которые могут заполнить поры абразивных кругов. Используя нагрузку 500 г, мы должны добиться результатов ≤ 20 мг (100 оборотов).

- Адгезия тонера – метод IGT (на основе EN 12283). При лазерной печати тонер нагревается для хорошей адгезии (сухой тонер). На эту адгезию влияет тип принтера, тонера и бумаги. Метод IGT используется для проверки этой адгезии. Бумага печатается лазером. Полоска этой бумаги, напечатанной тонером, печатается с помощью тест-масла для пикинга с постоянной скоростью на тестере пригодности к печати IGT. После печати измеряют плотность в месте, где был сделан отпечаток с помощью масла для теста на пикировку, и в месте, где

отпечаток маслом не был сделан. Плотность используется в формуле для расчета адгезии. Требование: адгезия должна быть $>0,8$.

- Качество резки (согласно EN 12281). качество резки - термин для классификации качества обрезанных кромок бумажных листов. Определяется сравнением с рядом значений качества резки при увеличении в 42 раза. Результаты длинной и короткой кромки рассчитываются индивидуально, т. к. качество резки зависит от технологии резки. Требование: $95\% < 5$; $98\% < 6$.

- Коэффициент статического трения (на основе ISO 15359). Это отношение силы трения, действующей между двумя соприкасающимися поверхностями, к силе, необходимой для скольжения одной по другой. Величина коэффициента статического трения зависит от материалов, находящихся в контакте друг с другом, и колеблется от почти нуля до больше единицы. Чем выше значение коэффициента трения, тем больше сила трения, действующая между поверхностями, а это означает, что для скольжения одной из них по другой потребуется большее усилие. Для сравнения, коэффициент статического трения для двух конкретных поверхностей обычно оказывается выше их коэффициента кинетического трения. Это связано с тем, что статическое трение выше, чем кинетическое трение. Требование: $0,4 - 0,6$.

2.4.3 Дополнительные параметры для бумаги, используемой для струйных принтеров

- Оптическая плотность (optical density). Определение: резкость напечатанного цвета, измеренная денситометром. Измерения оптических плотностей в четырех цветовых блоках: ЧЕРНЫЙ, ЖЕЛТЫЙ, ПУРПУРНЫЙ и ГОЛУБОЙ. Для каждого блока вычислялось среднее значение по трем показаниям денситометра в пределах площади одного блока. Результаты были предоставлены для каждого принтера в виде средней ОП черного и среднего ОП цвета (т. е. для трех других блоков). Чем выше результаты измерений, тем лучше качество.

- Впитываемость (wicking). Определение: дефект, связанный с взаимодействием чернил и бумаги в результате растекания чернил по длине волокон. Оценка качества печати на четырех цветных блоках по шкале качества (0,1/0,4/0,8 1,2/1,6/2,0 балла). Оценивались следующие цвета: ЧЕРНЫЙ, ЖЕЛТЫЙ, ПУРПУРНЫЙ и ГОЛУБОЙ. Для каждого принтера было рассчитано среднее значение для четырех цветов. Чем выше результаты измерений, тем хуже качество.

- Растекание (bleeding). Определение: дефект, возникающий в результате перетекания краски в другой цвет из-за капиллярного действия волокон в подложке. Оценка качества печати для трех блоков по шкале (50/100/150/200/250/300/350/400 микрон). Оценивались следующие цвета: ЧЕРНЫЙ на ГОЛУБОМ фоне, ЧЕРНЫЙ на ПУРПУРНОМ фоне и ЧЕРНЫЙ на ЖЕЛТОМ фоне. Для каждого принтера было рассчитано среднее значение для всех трех блоков. Чем выше результаты измерений, тем хуже качество.

- Пятнистость (mottling). Определение: пятнистое и неравномерное нанесение краски обычно заметно на больших сплошных печатных участках. Оценка качества печати для двух черно-печатных блоков. Тест на пятнистость — это визуальная оценка качества печати на основе сравнения с эталонными распечатками (разного качества). Шкала пятнистости: 5,0; 3,75; 2,5; 1,25; 0. Чем выше результат, тем лучше качество.

- Вскрытие (Show-trough). Определение: дефект печати, при котором изображение проглядывает сквозь лист недостаточно матовой или малоформатной бумаги. Качество печати по показаниям денситометра. Оптическая плотность измерена на оборотной стороне печати для СМУК. Чем ниже оптическая плотность, тем лучше качество.

- Зачеркивание (Strike-trough). Определение: дефект печати, связанный с просвечиванием, при котором чернильные точки появляются на оборотной стороне отпечатка. Оценка качества печати для двух чернопечатных блоков. - - Тест на зачеркивание — это визуальная оценка качества печати на основе

сравнения с эталонными распечатками (разного качества). Шкала зачеркнутости: 3,0; 2,25; 1,5; 0,75; 0. Чем выше результаты, тем лучше качество.

3 Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной целлюлозы, осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях изменения критериев оптимизации (минимизация сроков – максимальная загрузка всех технологических потоков)

В данном разделе диссертации синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной целлюлозы, осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя рассматривается с учетом общих принципов синтеза и анализа технологических схем, осуществленной поэтапной эколого-технологической реконструкции интегрированного целлюлозно-бумажного комбината «Светогорск» [10], совмещения в рамках одного предприятия периодической и непрерывной сульфатной варки [9], наличия на этом же предприятии современного производства БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя.

3.1 Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно-бумажного комбината Светогорского ЦБК

Для Светогорского целлюлозно-бумажного комбината вопросы обеспечения экологической безопасности, снижения воздействия деятельности предприятия на окружающую среду всегда стояли в одном ряду с обеспечением безопасных условий труда и, наряду с выполнением производственной программы, непрерывным совершенствованием технологических процессов и повышением конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Связано это не только с градообразующим характером предприятия, экологической и социальной ответственностью собственника комбината на протяжении четверти века – крупнейшей международной целлюлозно-бумажной компанией мира International Paper (Интернейшенал Пейпер), но и, в том числе, с

расположением комбината в непосредственной близости с городом и с Российско-Финской границей. Кроме того, предприятие находится на берегу реки Вуоксы - относительно небольшой, но полноводной реки, на которой на территории Финляндии также располагается несколько целлюлозно-бумажных предприятий.

Построенный в конце 19-го века комбинат неоднократно модернизировался и реконструировался. В конце 1998 года, с приходом компании International Paper, комбинат вступил в новую фазу своего развития. В период с 1999 года компания инвестировала в предприятие более 600 млн. долларов США. Это позволило не только практически в два раза увеличить производительность по бумаге и картону, одновременно увеличив потребление древесины с 1,4 до 2,1 млн. м³ в год, но и полностью обновить структуру выпускаемой продукции. Предприятие перешло на выпуск наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью, конкурентоспособной и востребованной на российском и мировом рынках – офисной бумаги и многослойного, чисто целлюлозного, в том числе мелованного картона для упаковки жидких пищевых продуктов.

Такое изменение структуры выпускаемой продукции позволило по этим видам продукции не только практически полностью осуществить импортозамещение, но и существенно нарастить объем экспорта [73]. Поставляя продукцию на экологически чувствительные рынки, комбинат должен оперативно реагировать на возрастающие требования потребителей к экологической характеристике ее происхождения.

Исходя из основополагающих принципов «устойчивого развития», предусматривающих неразрывную связь экономического, социального и экологического развития, инвестиционные программы развития комбината предусматривали углубление переработки древесины и комплексного использования лесных ресурсов, переход на наукоёмкие технологии, постоянное улучшение экологии [74]. При этом научное сопровождение инвестиционных программ осуществляли как научные и инжиниринговые центры компании, так и научный партнер комбината — Санкт-Петербургский государственный

технологический университет растительных полимеров (СПбГТУРП) [75-80], позднее объединившийся с Санкт-Петербургским государственным университетом технологии и дизайна в Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна как Высшая школа технологии и энергетики.

Все мероприятия, которые реализовывались на комбинате имели кроме целей повышения эффективности производства также и экологическую составляющую. Она касалась как сокращения газовых выбросов и сбросов сточных вод, так и сокращения объема твердых отходов, а в последние годы и сокращения «углеродного следа».

В качестве примеров такого подхода можно привести:

- Комбинат стал первым предприятием в ЦБП России, полностью перешедшим на производство продукции без использования элементарного хлора (отбелка ECF). В результате была резко снижена токсичность стоков, как собственно промывки, так и в целом комбината и, соответственно, нагрузка на окружающую среду. (Ранее, еще в восьмидесятые годы XX века на комбинате была впервые в СССР реализована в промышленных масштабах технология производства сульфатной лиственной беленой целлюлозы без использования элементарного хлора - отбелка ECF. Работы проводились под руководством проф. Г.Л. Акима – «отца» кислородной отбелки [48]).

- За счёт модернизации промывки небелёной целлюлозы обоих целлюлозных заводов (хвойного – САЦ-1 и лиственного - САЦ-2) на предприятии была реализована программа значительного повышения качества небеленой целлюлозы. Эти мероприятия позволили значительно снизить расход химикатов на отбелку, улучшить показатели готовой продукции. Экологическим эффектом такой модернизации явилось значительное снижение расхода химикатов на отбелку, значительное снижение количества органических загрязнений, попадающих в сточные воды.

- В отбельных цехах комбината была реализована система противоточной промывки, что позволило снизить удельный расход промывной воды с 65 до 25 м³/тонну целлюлозы [82-83].

- Модернизация систем водооборота бумагоделательной и картоноделательной машин позволила, кроме повышения качества выпускаемой продукции, также значительно снизить удельный расход воды на производство.

- Было осуществлено строительство завода осажденного карбоната кальция (РСС), с использованием для осаждения карбоната кальция диоксида углерода (углекислого газа) отходящих (дымовых) газов известерегенерационных печей. Использование РСС в качестве наполнителя для бумаги и картона позволило снизить расход древесного волокна на производство 1 тонны бумаги и картона и сократить выброс парниковых газов.

- Установка многотопливного котла – утилизатора (МТК) позволила отказаться от использования ископаемого топлива (мазута) для сжигания избыточного активного ила очистных сооружений (до этого ил сжигался в печах с кипящим слоем без утилизации тепла), а также, за счёт эффективного использования тепла от совместного сжигания кородревесных отходов для получения пара и электроэнергии, значительно сократить потребление природного газа и покупной электроэнергии, сократить выброс парниковых газов и, соответственно, «карбоновый след» [83].

Кроме мероприятий, одновременно повышающих и эффективность производства и оказывающих сопутствующий положительный экологический эффект, были реализованы мероприятия и чисто экологической направленности.

Наиболее затратными из них были:

- Замена и капитальный ремонт оборудования очистных сооружений, заметно повысившее эффективность их работы;

- Внедрение системы сбора и сжигания дурнопахнущих газов сульфатцеллюлозного производства, значительно улучшившее ситуацию с газовыми выбросами в атмосферу [85];

- Модернизация систем газоочистки содорегенерационных котлов, позволившая резко, в 2,5 раза, снизить количество газопылевых выбросов.

Были также осуществлены другие мероприятия, повышающие экологическую безопасность производства:

- Осуществлено строительство защитных сооружений для сбора переливов в случае повреждения емкостей хранения щелоков;
- Проведена модернизация систем учета водопотребления и водоотведения;
- Проведены работы по дальнейшему повышению эффективности промывки;
- Проведены пилотные испытания установки флотации с целью выработки технических решений по реконструкции системы доочистки сточных вод;
- Выполнен проект строительства полигона для складирования промышленных отходов и твердых бытовых отходов города Светогорска;
- Проводится совместная работа с заводом SCA по производству санитарных бумаг и картонной фабрикой по улучшению качества сточных вод этих предприятий (стоки этих предприятий поступают на очистные сооружения комбината);
- Разработаны и реализованы Комплексные системы управления качеством продукции (ИСО 9001), охраны окружающей среды (ИСО 14000), и др.;
- Разработана, внедрена и сертифицирована на соответствие стандарту ИСО 14001:96 система устойчивого лесопользования.

Итогом этого этапа инвестиционной программы Светогорского ЦБК стало увеличение общей производительности предприятия примерно на 50 %. При этом удельный расход воды на производство сократился примерно на 30 %, а содержание загрязнений в очищенных стоках значительно снизилось. Так, содержание взвешенных веществ в очищенных стоках в 2004 году по сравнению с 1998 годом снизилось в 4,9 раза, а содержание органических загрязнений (БПК) –

в 3,7 раза. В разы также снизилось содержание в стоках метанола, сернистых соединений, скипидара и других специфических загрязнений. На рисунке 3.1 показано снижение содержания основных загрязнений в стоках, сбрасываемых в реку Вуокса с 2000 до 2002 годов.

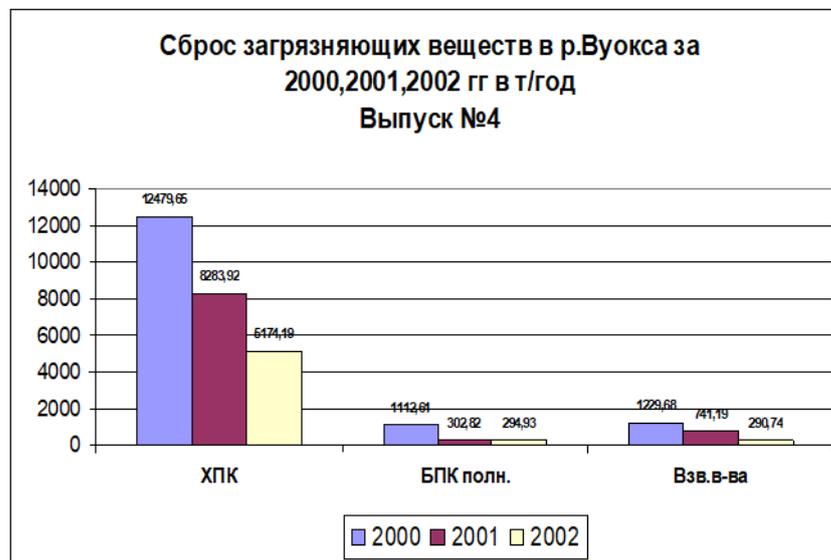


Рисунок 3.1 – Снижение сброса загрязнений с очищенными стоками в реку Вуокса

Разработка технических решений перечисленных выше мероприятий проводилась с использованием опыта инженеров Светогорска, компании Интернешнл Пейпер, университетской и отраслевой науки, проектировщиков, ведущих производителей оборудования и технологии – компаний Метсо, Андритц, KWI.

Интенсивная реализация первого этапа инвестиционной программы послужила своего рода тестом для предприятия. Результаты от реализации оказались впечатляющими. Это, прежде всего, снижение себестоимости и повышение цены выпускаемой продукции, при значительном снижении экологической нагрузки от деятельности предприятия. Они так же послужили доказательством того, что коллектив предприятия в состоянии внедрять и осваивать передовые технологии и оборудование, и заслужил право на дальнейшую программу инвестиций, направленных на повышение

производительности, углубление переработки и увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью.

Однако высокая планка достигнутых показателей по качеству стоков на первый взгляд казалась препятствием для дальнейшего развития предприятия. Ведь в планах были крупные инвестиции в расширение производства и увеличение производительности. Планировалось провести модернизацию картоноделательной машины с установкой системы мелования, увеличить производительность машины белых бумаг и, наконец, осуществить строительство завода по производству белой ХТММ.

В рамках новой инвестиционной программы ОАО «Светогорск» планировал строительство нового завода по производству белой химикотермомеханической массы (БХТММ), используемой в производстве бумаги и картона. Сырьем для БХТММ является осина («тополь дрожащий») - невостребованная на момент создания производства в РФ порода древесины, не позволяющая эффективно вести лесопользование. В смешанных лесах осина рассматривается не только как неликвидная древесина, но и является сорной лесной породой, замедляющей рост высокоценных хвойных пород [7, 86]. В то же время сегодня в мире тополь (осина) рассматривается как очень перспективная порода, плантации которого позволили Китаю резко расширить производство лесной продукции (фанеры, бумаги) [8].

Белая ХТММ относится к так называемым полуфабрикатам высокого выхода. Выход БХТММ из древесины осины составляет свыше 85 %, в то время как при получении белой сульфатной целлюлозы – около 50 %. Таким образом, для производства одного и того же количества продукции требуется в полтора раза меньше древесины. Экологическое значение данного проекта для Северо-Западного региона РФ заключается также в том, что его реализация позволит экономить большое количество древесины других пород. Однако, производство БХТММ является с экологической точки зрения и наиболее сложным, т.к. при выходе продукции 85 % в стоки попадает 15 % от массы древесины, а

использование традиционной системы регенерации сульфатного процесса не целесообразно.

Известно, что надзорные органы не соглашались на увеличение количества загрязнений в стоках, даже если удельное количество загрязнений на единицу продукции и снижается. Работники комбината прекрасно понимали, что условием согласования следующего этапа инвестиционной программы будет сохранение уровня валового сброса.

Эта задача решалась по трём основным направлениям:

Первое – это усиление контроля и улучшение режима стокообразования действующего производства;

Второе – дальнейшее повышение эффективности работы существующих очистных сооружений;

Третье – при строительстве завода БХТММ предусмотреть строительство локальных очистных сооружений и компенсирующих мероприятий, позволяющих при запуске завода не увеличить общий объём загрязнений, сбрасываемых в реку.

Для реализации **первого направления** было проведено дополнительное обследование режима стокообразования действующего производства, проанализированы и определены достижимые нормативы сброса по каждому производству и проведены мероприятия по ужесточению технологической дисциплины.

Для реализации **второго направления** была приглашена компания KWI (ведущая компания по технологиям и системам очистки стоков), а научное сопровождение работ осуществлял СПбГТУРП. Было проведено совместное обследование эффективности работы очистных сооружений, определен вклад каждого из производств, включая завод SCA (по производству санитарных бумаг), в формирование общего стока, как по объему, так и по основным видам загрязнений. Решением было осуществить реконструкцию общезаводской системы доочистки стоков, которая была построена по проекту финских специалистов в период реконструкции предприятия в 1984 году. Установка

считалась опытно-промышленной и с самого пуска не обеспечивала эффективности выше 30%. Принцип работы установки — совмещённая в одном узле флотация и фильтрация стоков. В результате проведённой компанией KWI и СПбГТУРП реконструкции (Рисунок 3.2) узла доочистки [87] содержание взвешенных веществ в очищенном стоке снизилось до 3–7 мг/литр. Но, кроме того, выяснилось, что на песке, через который проходит фильтрация, нарастает тонкий слой активного ила, и, благодаря этому, в результате происходит снижение БПК в очищенном стоке до 4–5 мг/л.



Рисунок 3.2 – Песчаные флотофильтры доочистки сточных вод

Третье направление должно было быть реализовано в составе проекта строительства завода БХТММ. После многочисленных встреч с различными фирмами, которые предлагали разные варианты организации локальной очистки стоков нового завода, была принята уникальная система как локальной очистки стоков БХТММ [88], так и реконструкции общезаводской очистки стоков.

Совместная очистка стоков завода БХТММ и действующего производства (два целлюлозных завода, бумагоделательная и картоноделательная машины, производства регенерации химикатов и завод по производству санитарно-гигиенических изделий, стоки которого поступают на очистные сооружения Светогорского ЦБК) требовала огромных капитальных затрат и не обеспечивала необходимого (достигнутого) уровня загрязнений в очищенном стоке.

Локальная биологическая аэробная очистка с высоко нагруженным активным илом так же требовала высоких капитальных и операционных затрат, и также не обеспечивала необходимой эффективности. Кроме того, эти два способа предполагали значительное увеличение объёма избыточного активного ила, что потребовало бы строительства дополнительных мощностей по его сжиганию.

Была отклонена анаэробная очистка, которая предполагала слишком большой риск нестабильной работы из-за высокой чувствительности к качеству и стабильности исходного стока, а также с возможным приданием производству категории «взрывопожароопасный».

В результате наилучшей была признана концепция, предложенная компанией KWI, совместно с СПбГТУРП. Технология базируется на оптимальном сочетании общезаводской и локальных систем очистки сточных вод, доочистке сточных вод предприятий ЦБП до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения, а также на обработке и обезвоживании осадков и избыточного активного ила до показателей, позволяющих их использование в качестве низкокалорийного биотоплива.

Суть концепции заключалась в следующем. Сток завода БХТММ характеризуется невысоким удельным расходом и очень высокими концентрациями растворённых высокомолекулярных органических соединений, высокими концентрациями по взвешенным веществам (ВВ) и высокой температурой стока. Поэтому, в качестве первой ступени локальной очистки, была выбрана механическая очистка на барабанных ситах (эффективность очистки по взвешенным веществам более 70%), а в качестве второй ступени локальной очистки - напорная флотация (Рисунок 3.3), которая позволяет снимать около 60% загрязнений (ВВ и ХПК).



Рисунок 3.3 – Флотатор очистки стоков производства БХТММ

После этого стоки направлялись на локальную биологическую очистку с продлённым временем аэрации (для этого был выделен один аэротенк) и высокой концентрацией активного ила. Высокая концентрация активного ила была получена за счёт замены седиментационного илоразделения во вторичном отстойнике на флотационное илоразделение, которое позволяло получить концентрацию циркулирующего ила до 40 г/литр. Для аэрации и перемешивания иловой смеси старые поверхностные турбоаэраторы в аэротенке были заменены на высокоэффективные турбоаэраторы (производства компании KWI). Локальная система биологической очистки практически полностью снимает растворённые легкоокисляемые органические вещества (выражаемые через БПК). Затем, после отделения активного ила, сток поступает на вход существующих общезаводских очистных сооружений.

В начальной стадии работы был определен вклад каждого из производств, включая завод SCA (по производству санитарных бумаг), в формирование общего стока, как по объему, так и по основным видам загрязнений, и проведено совместное обследование эффективности работы общезаводских очистных сооружений.

При этом было установлено, что стоки завода SCA (по производству санитарных бумаг), внося около 15 % в формирование общего стока по объему, приносят по одному из основных видов загрязнений – взвешенным веществам –

свыше 50 % от общего количества взвешенных веществ, поступающих на общезаводские очистные сооружения. Соответственно, для этого производства было рекомендовано создание системы локальной очистки стоков. Специалисты компании KWI, обследовав работу фабрики СГБ, предложили смонтировать на потоке сточных вод две установки напорной флотации SPC-24. Такая система была создана компанией KWI [89] и успешно эксплуатируется до сих пор. Эффективность очистки оборотной воды составляет: по взвешенным веществам 99%, по зольности 99%, по ХПК 80-85%.

Для выявления и устранения источников вторичных загрязнений в системе общезаводской очистки стоков было повторно проведено обследование очистных сооружений. Такие источники были выявлены. Ими являлись:

Во-первых, система уплотнения илов седиментационным способом – илоуплотнители, которые работали не эффективно. В результате происходило анаэробное сбраживание ила. Это приводило к выбросам дурнопахнущих газовых веществ, всплыванию ила и, как следствие, к большой дополнительной нагрузке на сооружения биологической очистки по взвешенным веществам и по ХПК.

Во-вторых, совместная система обезвоживания осадков первичных отстойников и избыточного активного ила. Это приводило к большим концентрациям взвешенных веществ (прежде всего избыточного ила), которые в виде вторичных загрязнений возвращались на вход очистных сооружений.

В-третьих, возврат уловленных загрязнений с узла доочистки стоков на вход очистных сооружений, что также увеличивало нагрузку на биологическую очистку.

Устранение вторичных загрязнений позволило снизить нагрузку на очистные сооружения по ХПК почти на 14 тонн в сутки и, таким образом, дополнительно подготовить станцию к приёму объёма загрязнений от нового производства БХТММ.

После вторичных отстойников общезаводской биологической очистки весь сток поступает на блок глубокой доочистки. Замена уплотнения избыточного активного ила в уплотнителях – отстойниках на флотационное илоуплотнение

позволила значительно повысить концентрацию уплотнённых илов перед обезвоживанием и полностью исключило возврат загрязнённой вторичными загрязнениями надиловой воды на биологическую очистку. Кроме того, было также исключено образование дурнопахнущих газов и их выбросы в атмосферу (Рисунок 3.4).

Установленные современные пресса позволили получать из активного ила «биотопливо» с положительной теплотворной способностью. Система локальной очистки флотошлама и промывных вод от станции глубокой доочистки позволила избежать значительной нагрузки на станцию и подать сконцентрированные загрязнения на обезвоживание (Рисунок 3.5).



Рисунок 3.4 – Флотаторы для сгущения избыточного активного ила перед обезвоживанием



Рисунок 3.5 – Флотатор для сгущения шлама песчаных флотофильтров доочистки стоков

По поручению завода, для проверки работоспособности и эффективности методов очистки, которые предложила компания, на аналогичном заводе БХТММ в Швеции, который был прототипом производства БХТММ на Светогорске КWI и СПБГТУРП провели опытные испытания. После успешных испытаний и успешной опытно-промышленной реконструкции одного из флото-фильтров была реализована полномасштабная схема локальной очистки стоков БХТММ и реконструкции общезаводской системы очистки стоков. Эти работы были осуществлены одновременно со строительством завода БХТММ.

Таким образом, в результате были выполнены обязательства по не увеличению экологической нагрузки при пуске завода БХТММ, была создана уникальная система локальной и общезаводской очистки стоков, полностью обеспечивающая выполнение всех существующих экологических норм. Было пущено и успешно эксплуатируется до настоящего времени производство БХТММ. Данные по удельному количеству загрязнений в стоках представлены на рисунках 3.6 и 3.7.

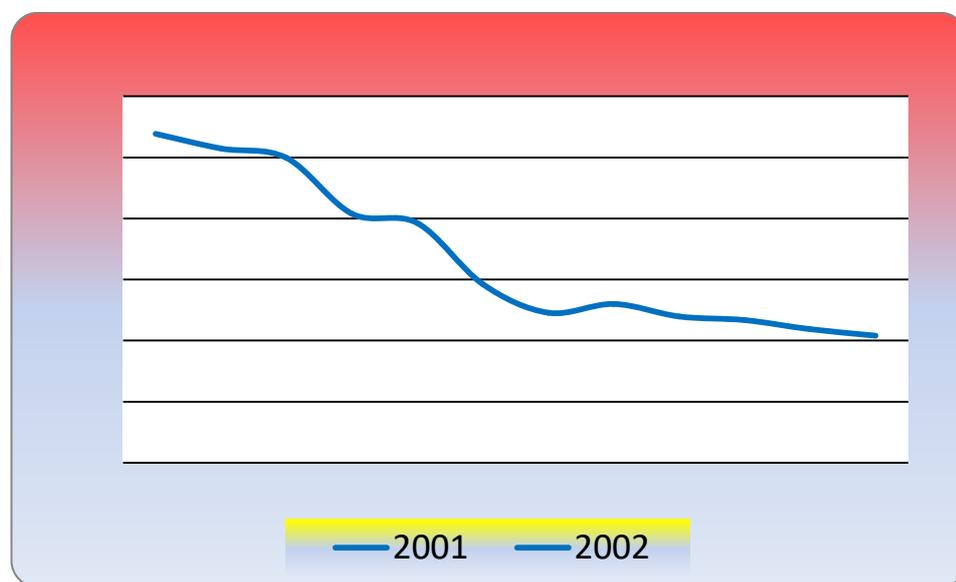


Рисунок 3.6 – Снижение удельного содержания загрязнений по ХПК в очищенных стоках

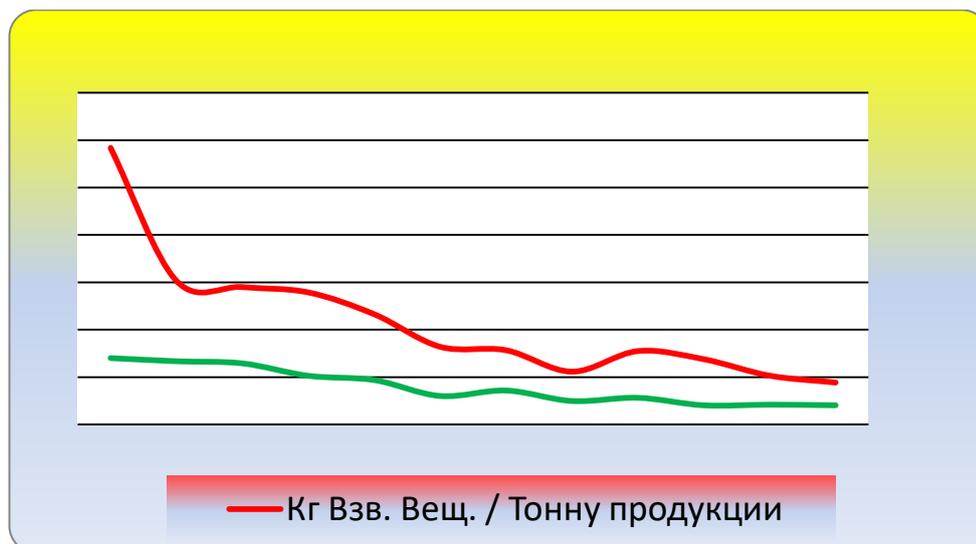


Рисунок 3.7 – Снижение удельного содержания загрязнений по БПК и взвешенным веществам в очищенных стоках

Разработанная и поставленная Компанией KWI технология и оборудование показали высокую надежность в эксплуатации, конкурентоспособные капитальные и операционные затраты. Степень очистки стоков полностью соответствует как российским, так и международным экологическим нормам. Особенности этой технологии и оборудования описаны в ряде статей в Журнале ЦБК [87-89] и защищены рядом Патентов РФ [90-92].

Пятнадцатилетняя эксплуатация завода БХТММ и системы физико-химической очистки стоков показала хорошие результаты и возможность дальнейшей оптимизации процессов. С целью снижения уровня и вариативности ХПК были разработаны процедуры и стандарты по заготовке и хранению древесины, оптимизированы процессы пропитки, размола и отбелки. На стадии физико-химической очистки, совместно с поставщиками оборудования и химикатов, отработаны процедуры и установлены ключевые производственные параметры процесса, обеспечивающие максимальную эффективность. Уже внедрены и планируются к внедрению малые инвестиционные проекты с хорошей окупаемостью, направленные на повышение энерго-эффективности процесса (утилизация тепла стоков и увеличение сухости биотоплива). Внедрение программы производственного совершенства и информационных систем на предприятии сегодня продолжает показывать хороший потенциал для

дальнейших, практически без-затратных улучшений работы системы очистки стоков БХТММ.

3.2 Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки как путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия [9]

Как известно, из всего многообразия композиционных материалов [14], именно бумага и картон, мировое производство которых превышает 430 млн. тонн в год [1, 14], являются наиболее крупнотоннажными промышленными композиционными материалами. При этом именно лесной сектор и прежде всего целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) занимают лидирующую позицию в переходе к циркулярной биоэкономике [1-3, 6]. Целлюлозно-бумажная промышленность мира стала одной из наиболее глобализованных отраслей, при этом около четверти мирового объема производства бумаги и картона приходится на Китай (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Производство бумаги и картона в мире и ведущих странах в 2010-2021 гг., млн. тонн/год [6, 7]

	2010	2015	2020	2021	2021/2010
Мир	394,006	406,706	404,999	423,419	1,075
Китай	92,720	108,108	109,903	115,524	1,246
ЕС-27	90,145	87,035	81,849	86,913	0,964
США	75,877	72,603	67,851	69,131	0,911
Япония	27,364	26,228	22,887	23,953	0,875
Индия	9,223	11,236	15,008	16,319	1,838
Индонезия	9,919	10,881	12,951	12,647	1,275
Ю. Корея	11,105	11,602	11,328	11,595	1,044
Бразилия	9,978	10,453	10,348	10,771	1,079
Россия	7,582	8,061	9,489	10,086	1,330
Канада	12,790	10,328	8,580	8,671	0,678

Развитие новых технологий привело к структурным изменениям в ассортименте и объемах бумажной продукции. Наряду с упаковочными видами бумаги и картона, на долю которых приходится свыше половины всего выпускаемого объема, возникли и стремительно развиваются новые виды продукции — наукоемкие целлюлозные композиты, вошедшие в XXI веке во все сферы жизни как человечества, так и каждого человека. В частности, с переходом к информационно-коммуникационным технологиям (ИКТ), цифровым технологиям и появлением персональных компьютеров и принтеров, появился новый класс бумаги — «офисная бумага». Обеспечение технологического суверенитета России при производстве офисных видов бумаги одновременно является и важнейшей частью цифровизации экономики. Офисная бумага представляет собой высокотехнологичные целлюлозные композиты информационного назначения с достаточно сложной структурой и довольно высокой ценой. Этот вид бумаги касается жизни практически каждого человека, как владеющего персональным компьютером и принтером, так и не имеющего этой техники [24].

В статье [93] была рассмотрена конкурентоспособность периодической и непрерывной сульфатной варки в условиях реконструкции предприятий. Проведенный анализ особенностей технологии варки позволил сделать вывод о глубоко ошибочном стереотипном мнении о том, что на современном производстве целлюлозы не место установкам периодической варки. Предприятия, оснащенные установками периодической варки, за счет модернизации существующих мощностей могут достигнуть значительных улучшений своих технико-экономических показателей при относительно низких капитальных затратах и, практически, без потерь рабочего времени производства при реконструкции. Такая реконструкция, не связанная с дорогостоящей заменой котлов периодического действия установкой непрерывного действия, позволяет достичь

тех же результатов, потратив лишь часть средств, запланированных на реконструкцию.

Однако, еще более перспективно сочетание в рамках одного предприятия технологических линий (производств) периодической и непрерывной сульфатной варки, так как при этом можно не только полностью реализовать достоинства каждого из методов, но и получить сверхаддитивные эффекты. Для крупных российских предприятий такое сочетание может рассматриваться как дополнительный путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия в условиях глобализации рынков целлюлозно-бумажной продукции. Данный раздел диссертации и посвящён рассмотрению различных аспектов этой проблемы.

Как известно, 40-45 лет назад наша страна занимала 4-ое место в мире по выработке бумаги и картона, производя 5,2% их мирового объема. Сегодня на долю России приходится менее двух процентов мирового производства бумаги и картона; по объему их производства Россия переместилась в середину второго десятка. В то же время Россия остается одним из ведущих экспортеров волокнистых полуфабрикатов, прежде всего хвойных северных армирующих волокон. В условиях глобализации лесного хозяйства, целлюлозно-бумажной промышленности и мировых рынков лесных товаров [1, 4, 25], в условиях экспортной ориентации российской ЦБП, сохранение ее конкурентоспособности неразрывно связано с максимальным использованием всех резервов существующих предприятий. Непрерывный рост цен на энергоносители, транспорт, другие услуги «естественных монополий» могут лишить российские ЦБК их конкурентных преимуществ. В связи с этим необходим одновременный учет и мировых тенденций в производстве и использовании волокнистых полуфабрикатов и специфики российской лесосырьевой базы. На рисунках 3.8, 3.9 приведены данные, характеризующие динамику изменения структуры волокнистых полуфабрикатов в мире в период с 1970 по 2008 годы [32, 33].

Из представленных на рисунках данных видно, что, хотя за последние 40-50 лет объем мирового производства целлюлозы непрерывно возрастал, ее доля в общемировом использовании волокнистых полуфабрикатов непрерывно уменьшалась, прежде всего, в пользу вторичного волокна. Однако товарная целлюлоза остается одним из важнейших видов лесных товаров, для которого в мире сформировались глобальные потоки.

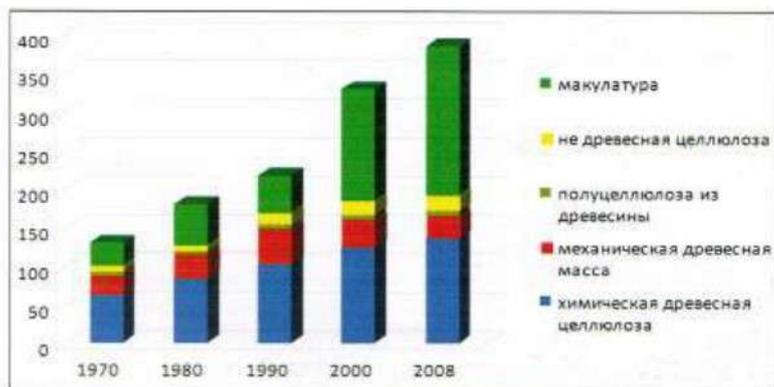


Рисунок 3.8 – Динамика изменения объемов производства (млн. тонн в год) волокнистых полуфабрикатов в мире в период с 1970 до 2008 года [6]

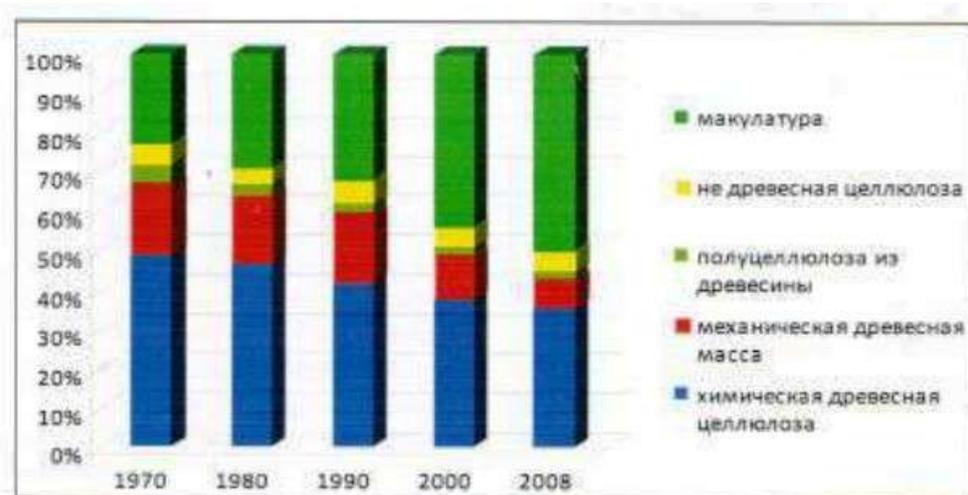


Рисунок 3.9 – Динамика изменения структуры производства волокнистых полуфабрикатов в мире в период с 1970 до 2008 года [6]

Доминирующее положение занимает сульфатная беленая целлюлоза, по которой наметилось четкое разделение. Производство лиственной сульфатной

беленой целлюлозы развивается, прежде всего, в Латинской Америке и Юго-Восточной Азии на базе плантаций ускоренного роста.

Так, в ноябре 2021 г. проявилась информация о том, что в Бразилии компания Suzano продолжает строительство огромного завода Cerrado по производству беленой целлюлозы из эвкалипта [94]. Было объявлено, что после запуска в конце 2024г. он станет крупнейшим в мире заводом, производящим 2,55 млн тонн целлюлозы в год, при самых низких показателях себестоимости в мире. Это будет один из немногих заводов в мире, который будет работать с нулевым использованием ископаемого топлива и использовать в качестве сырья древесину с плантаций, но и будет при этом производить электричество на продажу (Рисунки 3.10 и 3.11). Компания Andritz AG (австрийский машиностроительный концерн, разрабатывающий и производящий оборудование для целлюлозно-бумажной промышленности, гидроэнергетики, биотоплива и др.) получила заказ компании Suzano на поставку современных ресурсосберегающих технологий и оборудования для всех основных технологических участков завода по производству целлюлозного волокна и регенерации химических веществ. Однако уже в июле 2024 года было объявлено, что 21 июля 2024 года пущен завод мощностью 2,55 млн тонн товарной белёной сульфатной эвкалиптовой целлюлозы.

Cerrado с годовой производственной мощностью 2,55 млн т станет крупнейшим в мире заводом по производству эвкалиптовой целлюлозы на одной линии. Ввод в эксплуатацию намечен на вторую половину 2024 г и произошёл 21 июля 2024 г.



Рисунок 3.10 – Завод Компании Сузано в Бразилии (фото макета 2021 года)

Амбициозный проект компании Suzano является одним из наиболее конкурентоспособных в мире: на момент старта проекта в ноябре 2021 года себестоимость оценивалась менеджментом в размере 72 USD за тонну, в конце декабря 2023 года – из-за колебаний валютных курсов – она достигла 82 USD за тонну. Это менее половины по сравнению с заводом Três Lagoas, который также принадлежит Suzano и ранее считался рекордсменом по уровню затрат с показателями себестоимости в 244 USD за тонну. Средняя себестоимость производства блененной эвкалиптовой целлюлозы в Латинской Америке составляет 263 USD за тонну, что выводит проект Cerrado с объемом инвестиций в 4,5 млрд USD на новый уровень конкурентоспособности. К особенностям нового завода относится и производство 180 МВт экологически чистой электрической энергии двумя конденсационными турбинами, которые позволяют производить энергию даже при изменениях в процессе производства целлюлозы. Данный «энергетический фактор» имеет ключевое значение в снижении денежных затрат при производстве целлюлозы. Из общего объема произведенной энергии около 80 МВт будет расходоваться комбинатом, остальное будет продаваться на открытом рынке (в 2022 году компания уже продала электроэнергию на аукционе за 550 млн

USD). Проект Cerrado также предусматривает установку линии газификации для производства синтез-газа – смеси угарного газа и водорода, которая может использоваться в качестве альтернативы ископаемому топливу. Завод не будет иметь никаких соединений с трубопроводами для поставки природного газа и будет использовать ископаемое топливо только во время запуска печи для обжига извести.



Рисунок 3.11 – Завод Cerrado по производству целлюлозы в Бразилии
(2024 год)

Производство хвойной сульфатной блененой целлюлозы, так называемых «северных армирующих волокон», осуществляется главным образом в Канаде, Скандинавии и России. Именно для этих двух типов целлюлозы, хвойной и лиственной, и целесообразен анализ преимуществ непрерывной и периодической варки, а также их сочетания.

Необходимо подчеркнуть, что большинство технологических процессов на сульфат-целлюлозных заводах являются непрерывными. И хотя варку целлюлозы можно проводить как непрерывным, так и периодическим методами [2-4], при периодической варке все предыдущие стадии технологического процесса, а также последующие стадии осуществляются непрерывно. Однако наличие в технологической схеме гибких стадий периодической варки позволяет, с одной

стороны, нивелировать различия в свойствах поступающего сырья, а, с другой стороны, гибко реагировать на изменения конъюнктуры рынка, выпуская наиболее востребованный (и наиболее прибыльный) в данный момент продукт. В некоторых случаях наличие варочных котлов периодического действия позволяет использовать преимущество «гибкости». Например, при производстве сульфатной целлюлозы, используемой без отбелки (картон, упаковочные виды бумаги, компоненты гофрокартона) и той же целлюлозы, поступающей впоследствии на отбелку, разделение варки и промывки позволяет на одном потоке варить целлюлозу с разной степенью делигнификации. Это позволяет значительно повысить выход, убрать наличие «переходной» целлюлозы и сократить потребление отбеливающих реагентов.

Непрерывная варка целлюлозы может рассматриваться как технология, «ориентированная на процесс». В то же время технология периодической варки может рассматриваться как технология, «ориентированная на продукт». Такой подход наиболее актуален для предприятий большой производительности.

Как известно, в мире все шире в ЦБП используется плантационная древесина, прежде всего произрастающая на плантациях ускоренного роста. По данным **ФАО ООН**, лесные плантации, занимая менее пяти процентов лесопокрытой площади Земли, уже дают свыше половины всего объема производимых лесных товаров. Плантации эвкалипта в Латинской Америке, в Юго-Восточной Азии стали устойчивым источником древесного сырья для ЦБП этих стран. Плантации черного тополя в Китае стали не только основой для фантастического развития фанерного производства, но и дают ежегодно около 10 млн кубометров древесного сырья для ЦБП [11], обеспечивая 40 % древесного сырья для ЦБП.

Плантационное лесоводство целесообразно и в России. Так, в книге **«Плантационное лесоводство»** [27], изданной в 2007 году, есть интересные данные (стр. 334): «В лучших вариантах базовых опытов по выращиванию плантационных культур ели и сосны в Ленинградской и Псковской областях ...

запас ствольной древесины в 30–35-летних посадках составил 200–250 м³/га, а текущий прирост древесины — 6–12 м³/га/год. Приведенные величины — не артефакты. Среди опытных объектов есть насаждения с более высоким текущим приростом».

Обычно, обсуждая вопрос об использовании в ЦБП древесины, заготовленной на плантациях ускоренного роста, основное внимание уделяют их продуктивности, достигающей, например, для эвкалипта 40 и даже 60 кубометров с гектара в год (а на отдельных участках в Бразилии — существенно выше). Однако, не меньшее значение имеет и исключительная однородность такого сырья. При таких параметрах лесосырьевой базы вполне обосновано и создание производств мощностью миллионы тонн в год, и, безусловно, применение непрерывной варки.

Принципиально иная картина наблюдается для российских предприятий, работающих на древесине, заготавливаемой в естественных лесах. Широко известно, что продуктивность российских лесов в среднем составляет 1,3–1,5 кубометров с гектара в год (а в отдельных регионах в Сибири — существенно ниже). С другой стороны, существующий принцип «Бог леса не выровнял» к российским лесам и, соответственно, к поступающему на комбинат древесному сырью, относится в значительно большей степени, чем к комбинатам, получающим древесину, заготовленную на плантациях ускоренного роста. И по породному, и по возрастному составу (а, как следствие, и по структуре и свойствам) для древесного сырья, реально поступающего на российские ЦБК, характерна чрезвычайно большая неоднородность. В особенности для предприятий возрастом 30 и более лет происходит изменение структуры лесосырьевой базы. На участках рубок с начала эксплуатации комбинатов происходят процессы естественного лесовосстановления с преобладанием в них лиственных пород. При этом для обеспечения комбинатов хвойным сырьем приходится заготавливать лес с более удаленных участков, что приводит к значительному удорожанию сырья. В этих условиях особенно интересно

сочетание на одной площадке технологических линий непрерывной и периодической варки. На непрерывную варку в этом случае должна подаваться древесина, представляющая основную, более или менее равномерную по свойствам, часть поступающего древесного сырья. Эта технологическая линия, «ориентированная на процесс», будет работать с неизменными параметрами в стационарных условиях при минимизации времени переходных режимов. Периодическая варка, «ориентированная на продукт», будет перерабатывать остальную часть древесины, меняя параметры технологического процесса в зависимости от свойств сырья и потребностей рынка в данный момент.

Принципиальное отличие российских предприятий, как уже указывалось выше, — это то, что они работают на древесине, заготовленной в природных лесах. Соответственно, в отличие от ЦБК, работающих на плантационной древесине, для них характерна большая неоднородность сырья по породному и возрастному составу. Технологический поток непрерывной варки при этом может работать на основной породе и использовать наиболее равномерную часть сырьевой базы в стационарных режимах, практически исключая переходные режимы и выпуская наиболее востребованную на рынках продукцию, а периодический поток перерабатывает остальную часть сырья, варьируя технологические режимы в соответствии с рыночной конъюнктурой.

Как известно, для целлюлозно-бумажных рынков характерна цикличность, причем для разных видов продукции ЦБП ценовые пики во времени различаются. В достаточно широких пределах меняются соотношения рыночных цен на первичное и вторичное волокно, на товарную целлюлозу для бумаги и картона и на целлюлозу для химической переработки (растворимую целлюлозу).

Сочетание на одной производственной площадке технологических линий (производств) периодической и непрерывной сульфатной варки позволяет не только объединить достоинства каждого из этих методов, но и получить сверхаддитивного эффект. Можно рассмотреть ряд предпосылок к таким эффектам. Технологический поток непрерывной варки в этих условиях может практически

работать на полную мощность при неизменности параметров, используя стабильное сырье и выпуская наиболее востребованную в данный момент продукцию при минимальной себестоимости. В то же время технологический поток периодической варки в этих условиях может выполнять демпфирующие функции, работать на заданную мощность при параметрах, необходимых для перерабатываемых видов сырья и выпуская другую продукцию, также востребованную в данный момент на рынках, учитывая экономические реалии, а именно необходимость быстрого возврата инвестиций для привлечения инвесторов в ЦБП. Все ключевые производители оборудования и технологий предлагают технологию периодической варки для новых и модернизируемых целлюлозных линий до 500 тонн в сутки и выше. Использование современных систем управления (DCS) и приборов КИПиА нового поколения позволяет приблизиться к уровню себестоимости, аналогичной получаемой на непрерывных установках невысокой производительности.

Еще один важный фактор, приобретающий в последние годы все большее значение, — это изменение «бизнес-модели» с переходом (а точнее, с возвратом) от модели «стволового бизнеса» к модели «диверсификации бизнеса». Такой переход от бизнес-модели «стволового бизнеса» к модели «диверсификации бизнеса» в настоящее время становится доминирующим в мире. Применительно к ЦБП этот процесс отражается в переходе к биорефайнингу. Он получил свое название по аналогии с ойл-рефайнингом, т. е. с процессом комплексной переработки нефти на широкую гамму целевых продуктов.

Сочетание на одном предприятии технологических линий с непрерывной периодической варкой открывает возможность поэтапной реализации принципов биорефайнинга. Так, на рисунке 3.12 приведены некоторые схемы массных, энергетических и других потоков при биорефайнинге, представлявшие на совместной Конференции консультативного Комитета по бумаге и древесине ФАО ООН и Международного Совета Лесных и Бумажных ассоциаций в Монреале в мае 2011 года [34].

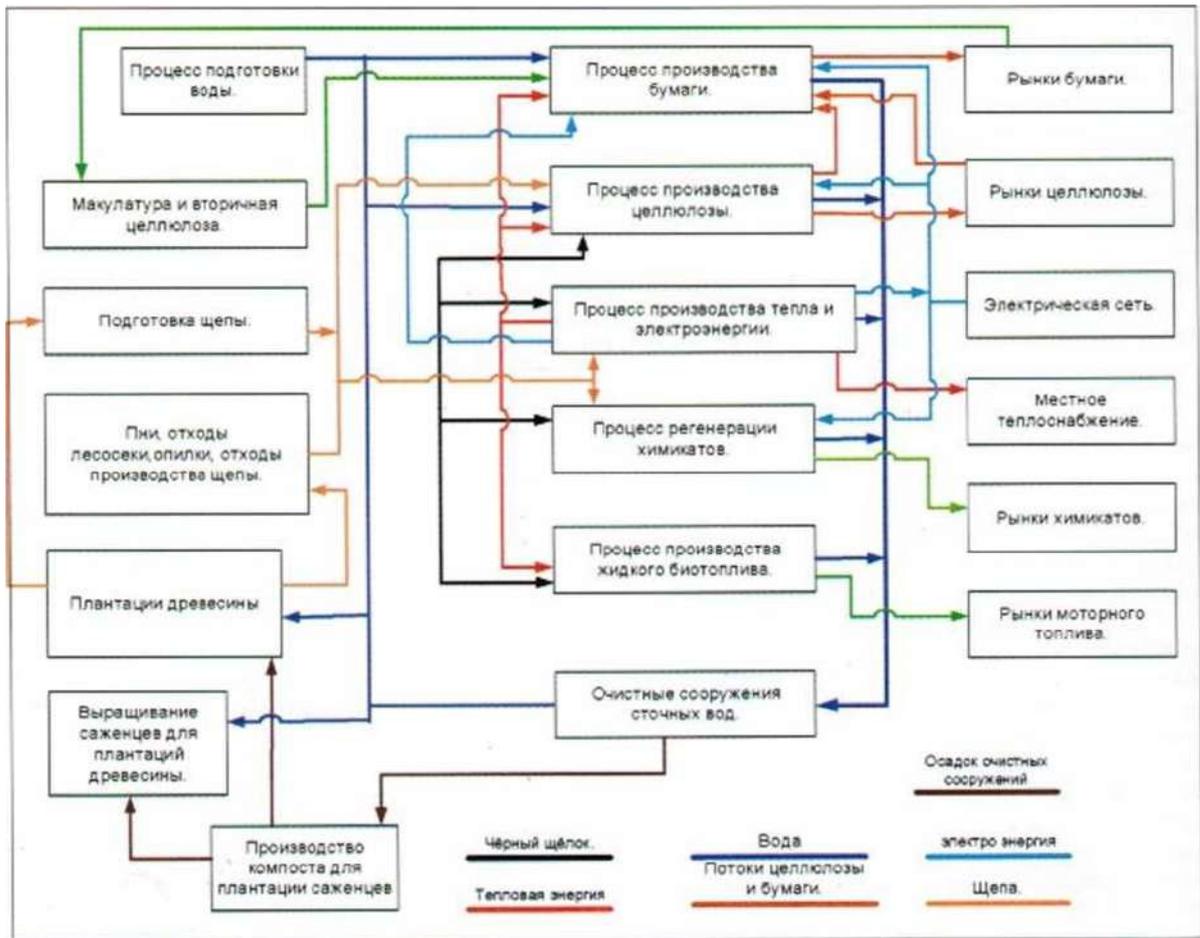


Рисунок 3.12 – Схемы массовых, энергетических и водных потоков при биорефининге

Появление идеи биорефининга в значительной степени связано с тем, что в последнее время в исследовательских центрах лесохимической индустрии зарождалось все меньше долгосрочных проектов. Индустрия концентрировалась на краткосрочных проектах по снижению затрат для выживания на беспокойных рынках. Наиболее исполнимые проекты по улучшению производства целлюлозы и бумаги находились в областях сырья, энергетики и экологии. Крупнейшие лесные и целлюлозно-бумажные корпорации мира непрерывно уменьшали объемы исследований, сокращая, а часто и закрывая свои исследовательские центры. В этих условиях именно идея биорефининга представляется многим как возможной ответ глобальным вызовам, путь спасения ЦБК — традиционных производителей бумажной продукции. Практическая реализация идей

биорефайнинга, однако, идет не очень большими темпами, так как пока риски, связанные с этим, выше возможной выгоды.

Проанализируем вкратце возникающие при этом новые проблемы. Решение об интеграции целлюлозного производства и биорефайнинга потребует пересмотра всей инфраструктуры современного ЦБК, пересмотра его материальных, энергетических и водных потоков, с учетом существующего законодательства и преференций.

В Европе целлюлозно-бумажная отрасль уже является наибольшим производителем и потребителем энергии из возобновляемых источников. Более того, существуют публичные обязательства по дальнейшему увеличению производства этой энергии. Современные целлюлозные заводы в состоянии самостоятельно обеспечить себя энергией и могут продавать избыточный пар для обогрева населенных пунктов, соседних производств или использования для производства лесохимической продукции (green-chemicals). Половина энергии, используемой в бумажном производстве — из возобновляемых источников. Около 96% электричества производится на заводской площадке в комбинации с производством тепла.

Современные целлюлозные заводы используют непрерывную варку, барабанные промывные прессы и отбелку без элементарного хлора. Использование перекиси водорода — экологически более совершенный, однако, с точки зрения качества целлюлозы, сочетание кислородно-щелочной делигнификации с отбелкой двуокисью хлора более предпочтителен. В последнее время для улучшения процесса все чаще начинают использовать озон, за счет чего уменьшается использование двуокиси хлора и, возможно, улучшаются механические свойства целлюлозы, и снижается потребление энергии.

Экологическая ситуация при производстве целлюлозы и бумаги постоянно улучшается.

Практически все заводы оснащены производствами регенерации химикатов, позволяющими регенерировать до 59 % варочных реагентов. Все заводы обязаны

иметь очистные сооружения сточных вод, однако уровень очистки и экологическая нагрузка зависят от размеров завода, места расположения, а также уровня технологии.

Таким образом, современные ЦБК имеют сложную многоуровневую сбалансированную инфраструктуру, для которой переход к биорефайнингу может рассматриваться как существенный возмущающий фактор. Еще одним достоинством сочетания периодической и непрерывной сульфатной варки и является возможность поэтапной интеграции целлюлозных заводов с производствами биорефайнинга.

Такая интеграция ставит перед производствами несколько задач. Во-первых, заводы, обеспечивающие себя энергией, могут оказаться не в состоянии обеспечить энергией производства биорефайнинга. Разделение волокна на фракции, выделение гемицеллюлоз и лигнина, переработка отдельных фракций в продукцию лесохимии требует или выработки большего количества собственной энергии, или использования покупной.

Кроме того, увеличение использования низкосортного сырья и древесных отходов потребует увеличения расходов воды для процессов сортирования и промывки.

Решение об интеграции целлюлозного производства и биорефайнинга потребует перенаправить часть стоков целлюлозного производства в производство энергии и/или для извлечения химикатов. В качестве примера можно привести промышленные установки по концентрации стоков ХТММ и их сжиганию совместно с черным щелоком в содорегенерационных котлах. Другой пример — использование в строительстве минеральных отходов производства осажденного карбоната кальция (используемого в качестве наполнителя в белых видах бумаги), и шлама систем каустизации и регенерации щелоков.

Насколько экономически целесообразна концепция биорефайнинга черного щелока, по сравнению с традиционным сжиганием и дистилляцией талового масла, предстоит ещё понять. Пока техническая и экономическая

целесообразность биорефайнинга до конца не утверждена, требования законодательства, налоговые послабления или субсидии подталкивают предприятия в направлении использования отходов целлюлозного производства в качестве возобновляемых источников энергии.

Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки на одной площадке позволяет с весьма небольшими затратами осуществлять промышленные эксперименты по поэтапной реализации принципов биорефайнинга, резко сократить риски, осуществлять наработку новых простоев и их вывод на рынки для оценки их конкурентоспособности. Таким образом, выделение одного-двух варочных котлов в рамках интегрированного предприятия позволяет осуществлять опытно-промышленную проверку стратегических путей повышения конкурентоспособности.

Безусловно, при реализации принципов биорефайнинга должны учитываться специфические особенности используемых пород древесины. Отдельные элементы такого подхода были реализованы в Светогорском ЦБК при создании технологической линии производства БХТММ из осины. Учитывая особенности этой породы, там была использована фрезерная окорка, новая схема утилизации избыточного активного ила и т. д. [88].

В качестве другого примера такого подхода рассмотрим вариант биорефайнинга лиственницы (сибирской и даурской), упрощенная схема которой показана на рисунке 3.13. При этом окорка баланса осуществляется в окорочных барабанах, а последующая варка — по непрерывному и периодическому способам. В настоящее время сибирская лиственница перерабатывается в смеси с сосной и другими породами, однако до выполнения проекта «Лиственница» существовало ограничение — в смеси могло вариться не более 10-15% лиственницы.

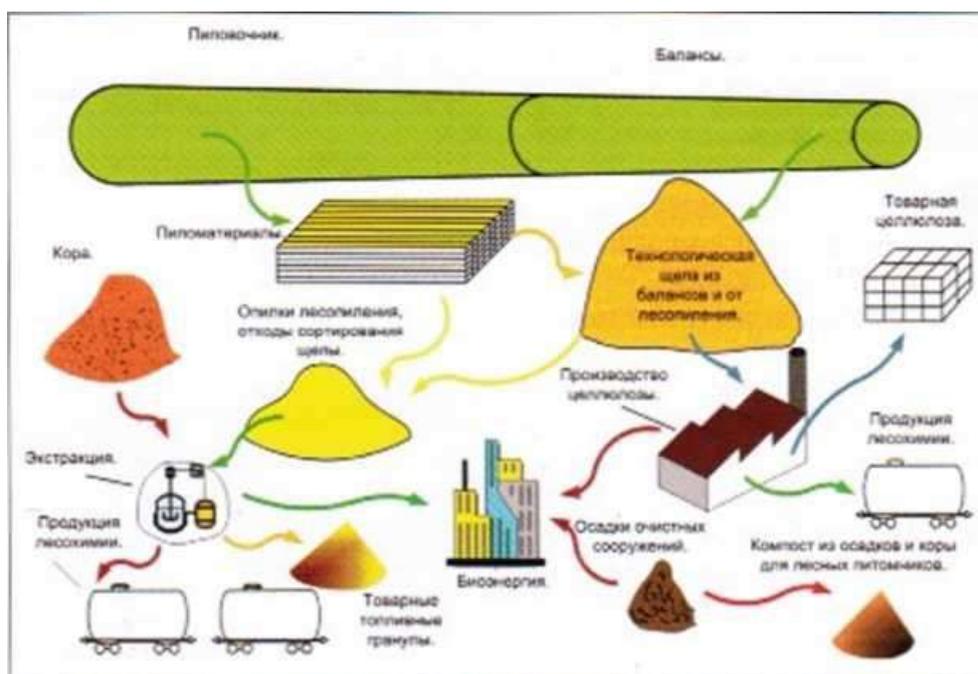


Рисунок 3.13 – Упрощенная схема биорефайнинга лиственницы

Введение предварительного сортирования поступающей древесины по породному составу, в сочетании с фрезерной окоркой (Ring debarking) лиственницы позволяет предложить ряд схем биорефайнинга. Фрезерная окорка позволяет осуществлять окорку целых хлыстов. При этом образуется кора высокой сухости и только лиственницы, практически без примесей других пород. Эта кора используется после измельчения для экстракции целевых компонентов, с последующей переработкой оставшейся твердой фракции на другие целевые продукты, в том числе на биотопливо.

Из окоренного хлыста выпиливается комлевая часть, пиловочник и балансовая часть. Опилки из различных по длине ствола частей имеют разный состав. Они могут собираться отдельно и, вместе с опилками, получаемыми при механической переработке пиловочника, подвергаться (после экстракции) переработке на различные целевые продукты.

Раздельно могут перерабатываться и комлевая, и балансовая части. Пройдя экстракцию и, при необходимости, специальные нивелирующие операции, щепка из этих частей древесины может затем перерабатываться совместно.

Водные экстракты лиственницы, в основном состоящие из арабиногалактана, в зависимости от назначения целевого продукта, могут перерабатываться по мембранной технологии [95,96], подвергаться дополнительной физико-химической модификации, химической или биологической переработке. Одно из таких направлений — комплексная переработка древесины лиственницы с предварительной экстракцией и ферментацией экстракта в молочную кислоту [97].

За последние годы Кафедра технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД выполнила и реализовала ряд проектов по биорефайнингу лиственницы, являющихся важными шагами на пути к углеродной нейтральности российского ЛПК.

Это, прежде всего, инновационные технологии биорефайнинга лиственницы, легшие в основу Проекта «Лиственница» (по Постановлению Правительства РФ №218).

Остановимся на фундаментальных основах новых технологий, а также подведем некоторые промышленные итоги этих работ.

Как уже отмечалось выше, в основе этих технологий лежит концепция Э.Л. Акима об определяющей роли релаксационных состояний полимерных компонентов древесины в жизни дерева, леса, выделении целлюлозы из древесины и её переработке в бумагу и картон, при её химической переработке [45, 47, 50, 103-104].

Из доклада проф. Э.Л. Акима на Конференции, посвященной 100-летию Американского Химического общества, США, 1977 [98-99]:

«Высокоэластическое состояние — это то состояние, благодаря которому существует жизнь на Земле... Высокоэластическое состояние — это то состояние, в котором целлюлоза синтезируется в процессах биосинтеза, выделяется из растительных тканей и перерабатывается в

бумагу и картон».

В 2021 году ООО «Инконалт К» выпустило книгу «От идеи к реализации. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218». (ООО «Инконалт К» — это российская консалтинговая компания, которая осуществляла сопровождение разработок в сфере научных исследований, инноваций и новых технологий по Постановлению № 218. Эту книгу можно рассматривать как официальные итоги работ, выполненных Университетами по данному Постановлению) [101].

Среди 362 проектов, выполненных в рамках 1-12 очередей по Постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218, именно проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)» (Проект «Лиственница») первым подробно описан на стр. 26-31 данной книги.

Проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)», Предприятие - АО «Группа «Илим»; Исполнитель НИОТКР - Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД; Начало реализации проекта – 2010; Субсидия (млн руб.) - 144,2; Собственные средства (млн руб.) - 178,5 на момент начала коммерциализации (2014 г.).

В рамках проекта «Лиственница» было впервые установлено, что арабиногалактан содержится в лиственнице не в чистом виде, а в виде его комплекса с водой. Комплекс «арабиногалактан-вода» в природной лиственнице существует как эвтектический растворитель и эвтектический пластификатор. Показано, что усталостная прочность древесины

лиственницы обеспечивается в живом дереве природным глубоким эвтектическим растворителем и эвтектическим пластификатором – жидкой системой «арабиногалактан-вода», заполняющей капиллярно-пористую структуру древесины. Было установлено также, что данный комплекс может быть удален из древесины в полимерной форме и на этой основе разработана инновационная технология [25, 26, 100].

Группа «Илим» занималась вопросом освоения лиственницы в промышленных целях на протяжении 25 лет; специфические особенности лиственничной древесины ограничивали ее использование при варке до 10-15%. Совместный проект Группы «Илим» и ВШТЭ СПбГУГГД, реализованный в рамках исполнения постановления Правительства РФ №218 в период 2010-2014 гг., позволил создать промышленную технологию получения качественной целлюлозы из лиственницы и ее смесей с другими породами. Использование лиственницы для этих целей прежде было неэффективным; она имеет высокую плотность и содержит значительное количество гемицеллюлозы - арабиногалактана, которое затрудняет технологический процесс.

Разработка новой технологии стала настоящим прорывом в отрасли. Созданные в рамках сотрудничества Группы «Илим» и СПбГУПТД способы получения целлюлозы не имеют мировых аналогов и защищены 19 патентами [103-117]. Реальные объемы продаж новой продукции значительно превысили прогнозные. В 2014 году, когда начался этап коммерциализации проекта, при запланированных 1102 млн рублей продаж фактический показатель составил 2 620,8 млн рублей. В 2017 году при плане продаж на уровне 12 672 млн рублей фактический объем достиг 61 513 млн рублей.

Продолжением проекта «Лиственница» стал проект «Усть-Илим 24», по которому Группа «Илим» весной 2024 года ввела в эксплуатацию целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) в Усть-Илимске Иркутской

области. Объем инвестиций в строительство составил 93 млрд рублей. После выхода ЦКК на проектную мощность 600 тыс. т крафт-лайнера в год, общий годовой объем производства «Илима» достигнет 4,3 млн т.

В лесосырьевой базе Группы «Илим» в Сибири на долю лиственницы приходится свыше 35%. Поэтому Усть-Илимский ЛПК практически будет использовать все научные и технологические разработки, созданные в результате проекта «Лиственница».

Совместное использование непрерывной и периодической варок позволяет осуществлять опытно-промышленные эксперименты в области биорефайнинга с минимальным риском.

В таблице 3.2 приведено сравнение некоторых характеристик варочного процесса и качества целлюлозы, получаемой при совместном использовании непрерывной и модифицированной периодической варок, а также при раздельном применении каждого из методов.

На российских предприятиях, производящих сульфатную целлюлозу, до сих пор работает довольно много варочных установок периодического действия. В большинстве случаев модернизация этих установок не проводилась несколько десятилетий, поэтому они эксплуатируются по традиционной технологии. Однако, положительный опыт относительно малобюджетной модернизации установок периодической варки и совместного использования непрерывной и периодической варок есть уже и в России. Он показывает, что совместное использование непрерывной и периодической варок позволяет увеличить производительность и одновременно добиться улучшения основных технико-экономических показателей производства и показателей качества продукции.

Сочетание на одной площадке периодической и непрерывной сульфатной варки позволяет гибко реагировать на характерную для целлюлозно-бумажных рынков цикличность; работать на неоднородной по породному и возрастному составу древесине, заготовленной в природных лесах; использовать наиболее равномерную часть сырьевой базы.

Таблица 3.2 – Сравнение некоторых характеристик варочного процесса при совместном использовании непрерывной и периодической варок и при их раздельном применении

Показатели	Непрерывная варка	Периодическая варка (модифицированная)	Сочетание периодической и непрерывной варок
<p>Управляемость технологического процесса варки:</p> <p>В стационарных условиях</p> <p>При переходных режимах</p>	<p>Хорошая только при стабильной производительности и хорошем качестве щепы</p> <p>В периоды пусков, остановов, при изменении вида сырья усложняется управляемость движением щепы, массы и щелока; неизбежно получение большого количества некондиционной продукции</p>	<p>Хорошая, как при стабильной производительности, так и в периоды пусков, остановов, изменении вида сырья или сортов готовой продукции</p>	Оптимальная
<p>Однородность провара целлюлозы по сечению варочного котла</p>	<p>Провар по сечению котла неоднороден, что является следствием неравномерного распределения температуры по сечению котла и недостаточной равномерностью пропитки</p> <p>Колебание жесткости - несколько единиц Каппа</p>	<p>Провар по сечению варочного котла однороден. Колебание по степени делигнификации составляют $\pm 0,5$ ед. Каппа</p>	

Выход и качество целлюлозы	Выход и прочностные характеристики целлюлозы при модифицированной периодической варке выше, чем при непрерывной, благодаря более однородному провару щепы		Выход и прочностные характеристики целлюлозы выше, чем при непрерывной или периодической по отдельности, благодаря более однородному провару щепы
Возможность получения целлюлозы с предварительным гидролизом или с предварительной экстракцией древесины	Попытки использования варки с предварительным гидролизом в установках непрерывного действия дали отрицательные результаты	Предварительный гидролиз, экстракция или другая предварительная обработка древесины хорошо сочетается с модифицированной периодической варкой	Высокая, при минимальных рисках
Возможность поэтапной реализации принципов биорефайнинга	Низкая	Средняя	Высокая, при минимальных рисках
Гибкость производства	Низкая	Средняя	Высокая

3.3 Технология производства белёной химико-термомеханической массы (БХТММ) [2, 3, 14, 16]

Как известно, древесина содержит 20-30 % лигнина (больше - в хвойных породах; меньше - в лиственных породах), лигнин склеивает и связывает волокна в структуре древесины. При производстве химической сульфатной целлюлозы лигнин удаляют (растворяют) путем жесткой химической обработки. В результате волокна легко разделяются. Вследствие жесткой химической обработки другие составляющие древесины растворяются. Из-за этого конечный выход массы составляет около 50% (Рисунок 3.14).

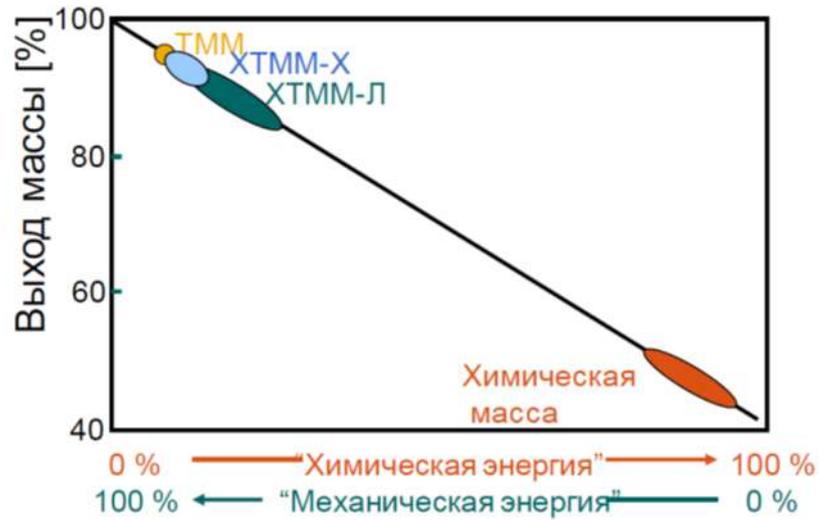


Рисунок 3.14 – Принципиальная схема использования химического и механического воздействия при производстве целлюлозы и при производстве древесных масс – ТММ, хвойной и лиственной XTMM

Завод по производству БХТММ

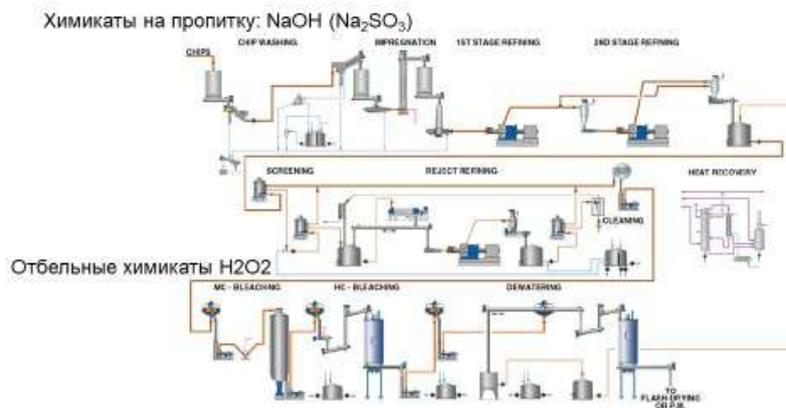


Рисунок 3.15 – Упрощённая схема завода по производству БХТММ

При производстве механической массы волокна древесины разделяются механической энергией, выход составляет от 85 до 95% в зависимости от вида древесины (Рисунки 3.14-3.18).

Выход при механической и химической обработке древесины резко различается.

Древесная масса производится путем размола щепы при интенсивной тепловой обработке и повышенном давлении (ТММ), либо слабой обработке щепы химикатами перед размолом (ХТММ). Термомеханический метод используется для мягкой хвойной древесины, химико-термомеханический метод - как для мягких (хвойных), так и твердых/лиственных пород древесины (Рисунок 3.15).

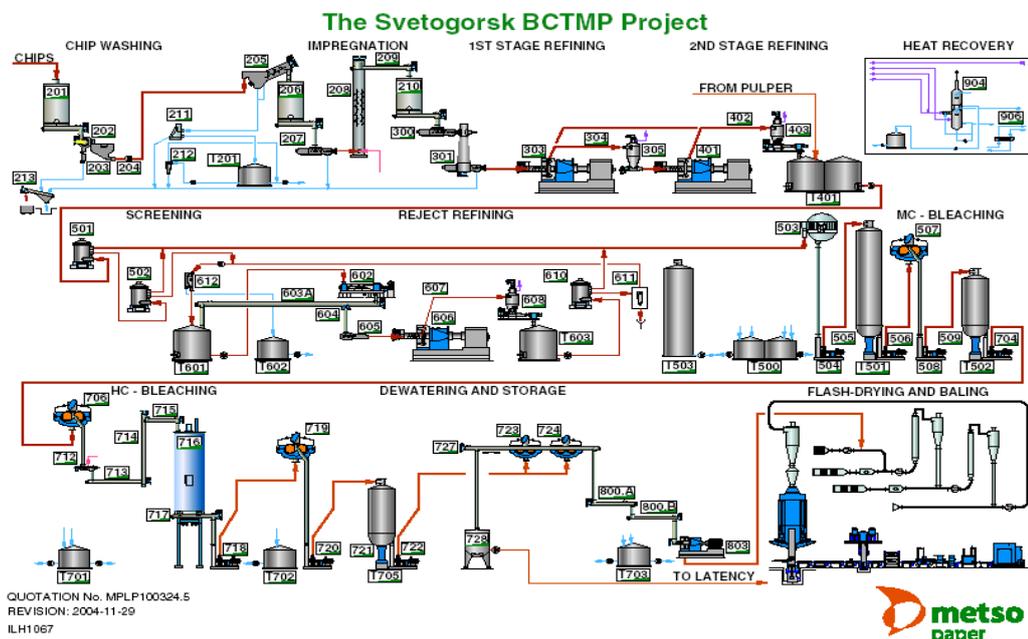


Рисунок 3.16 – Принципиальная схема завода по производству БХТММ

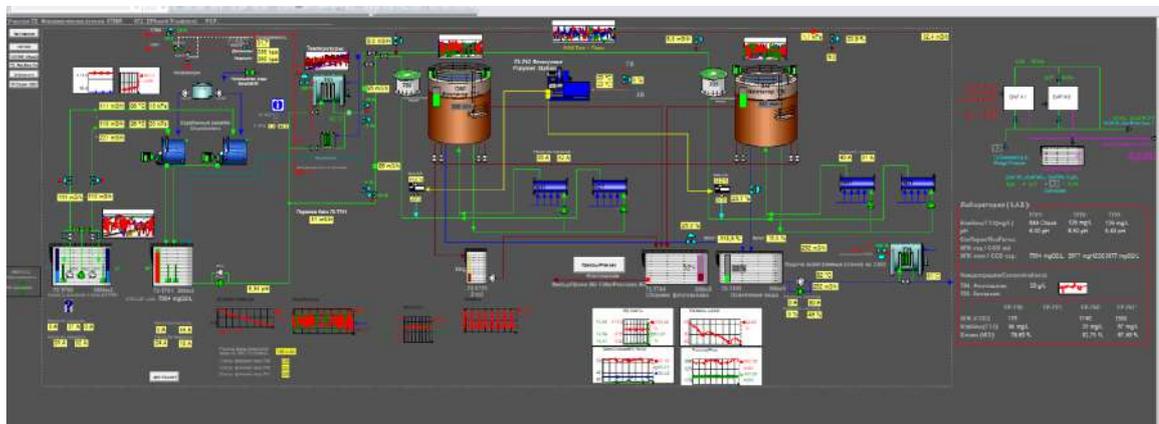


Рисунок 3.17 – Принципиальная схема завода по производству БХТММ

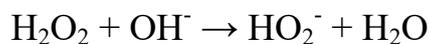


Рисунок 3.18 – Рафинер для размола ХТММ мощностью 22 МВт

При производстве БХТММ (рисунки 3.16-3.18) древесина окаривается, рубится в щепу и сортируется. Щепа нагревается паром, промывается, пропитывается химикатами (сульфитом натрия и едким натром) и направляется на размол. Для размола (Рисунок 3.18) используются 2 рафинера мощностью по 22 МВт каждый и рафинер размола отходов сортирования (22 МВт).

Отбелка ХТММ производится перекисью водорода в 2 степени.

NaOH необходим для диссоциирования перекиси водорода:



Отбелка БХТММ – это отбелка TCF, в ней не используются хлорсодержащие вещества. Сушка производится аэрофонтанным способом с применением природного газа.

На рисунке 3.19 приведена схема отбелки осинового БХТММ марки А400/80. Белизна древесной массы, поступающая на отбелку - по сырой массе – 50 - 51 %. Белизна готовой продукции марки А400/80 - по ИСО – не менее 78,0 %; Расходы химикатов на осиновою ХТММ марки А400/80 (размол и отбелка), кг/

а.с.т. ХТММ: Едкий натр – 33,0; Сульфит натрия – 7,5; Трилон Б – 0,7; Перекись водорода – 30,5; Силикат натрия – 5,0.

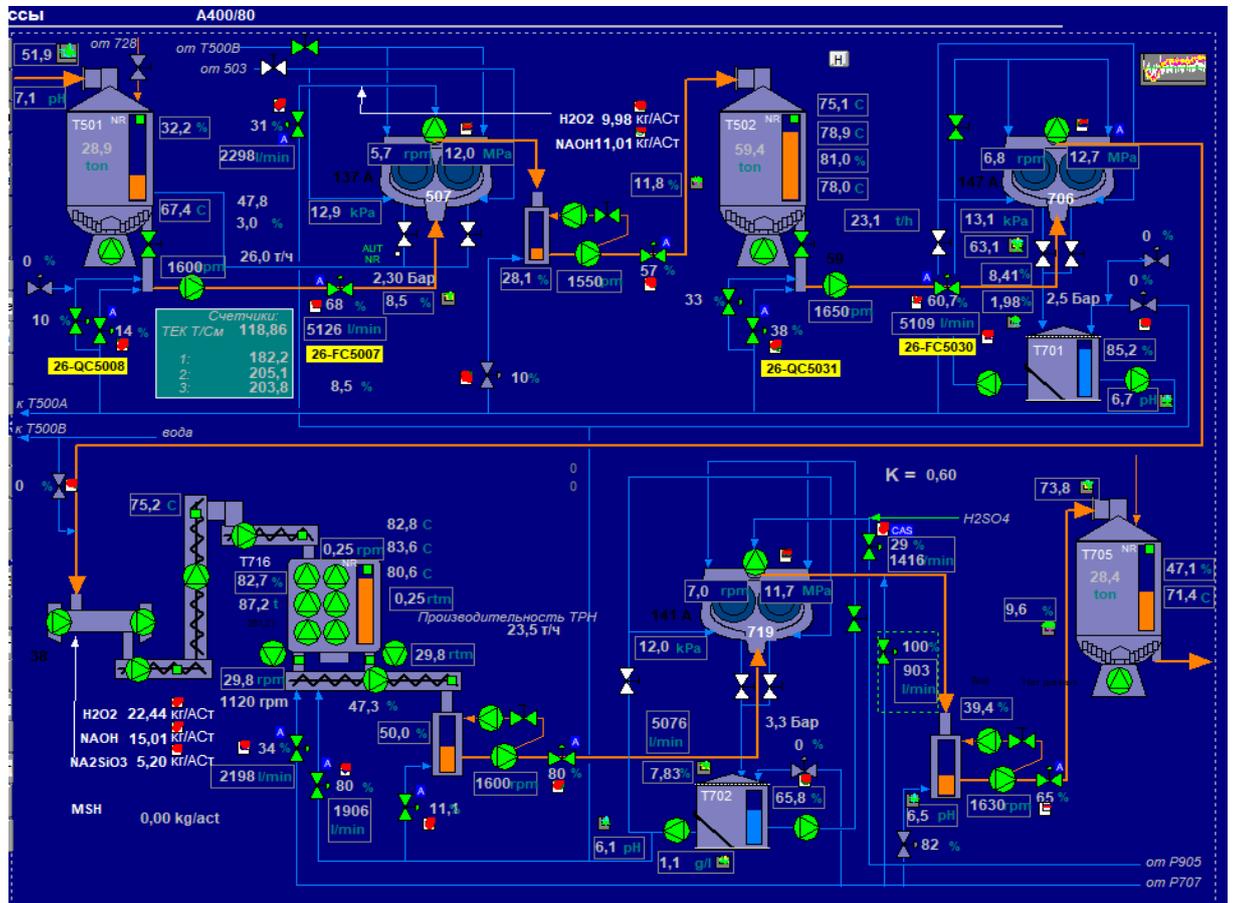


Рисунок 3.19 – Отбелка осинового БХТММ марки А400/80

ХТММ придает очень важные свойства для офисной бумаги – большой удельный объем (Рисунки 3.20, 3.21) и как следствие жесткость, за счет наличия в массе жестких, неразорванных волокон (Рисунок 3.20), а также непрозрачность, за счет большого количества мелочи, которая хорошо рассеивает свет, в отличие от химической целлюлозы (Рисунок 3.20, справа), волокна которой мягкие и гибкие, прозрачные, хорошо рассеивают свет.

ХТММ для офисной бумаги делается из лиственных пород древесины, что позволяет добиться нужных свойств волокна при минимальных затратах химических реагентов и энергии, и максимальном выходе. Осина в Северо-

Западном регионе РФ, являясь сорной породой, в то же время и идеальное сырье для производства ХТММ.

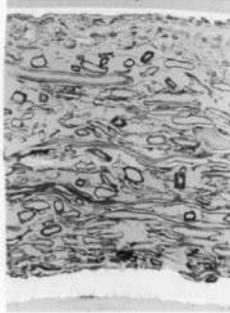


Figure 23.7 Cross section of a box board with CTMP in the middle and chemical pulps in the outer layers.

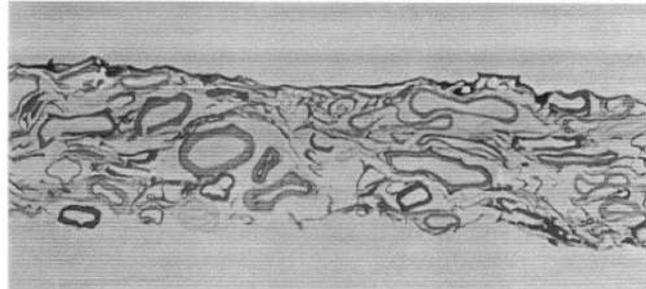


Figure 23.6 Cross section of a printed newspaper.

Рисунок 3.20 – Поперечный разрез бумажного листа, сформированного из ХТММ (слева) и из сульфатной целлюлозы (справа)

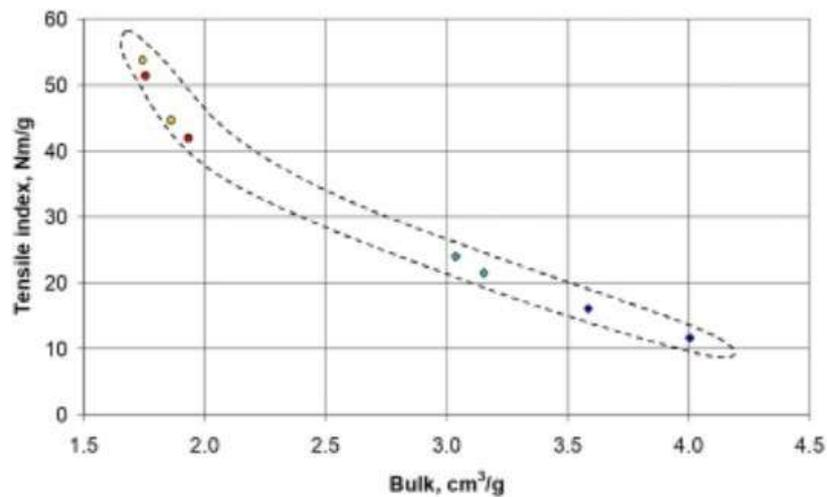


Рисунок 3.21 – Рабочее окно для оптимального соотношения удельного объёма и прочности

Управляя гибким процессом пропитки, размола, отбелики можно получать различные свойства волокна осиновой БХТММ, необходимые для офисной бумаги: чем больше щелочи при пропитке и отбелике, тем меньше удельный объём (пухлость); чем выше использование щелочи при пропитке и отбелике, тем выше

механическая прочность волокон; чем выше степень помола, тем лучше светорассеяние, а чем больше щелочи, тем хуже.

Таким образом, БХТММ является уникальным компонентом в композиции офисной бумаги, который является отличным заместителем крафт-целлюлозы, позволяет снизить себестоимость и получить требуемые качественные параметры офисной бумаги.

С момента начала производства БХТММ на Светогорском ЦБК выпущено свыше 3 миллионов тонн ХТММ.

Для Светогорского комбината 2007 год проходил под эгидой окончания строительства и пуска в работу производства химико-термомеханической массы (ПХТММ). Это был крупнейший по тем временам капитальный инвестиционный проект компании International Paper. 15 декабря 2007 года на новом производстве с конвейера сошла первая кипа продукта ХТММ. Объемы мощностей ПХТММ рассчитывались на производительность 200 000 воздушно сухих тонн в год. Проект разрабатывался с учетом сведения к минимуму потребления древесины и воды, максимальной экономии электроэнергии и снижения выбросов в атмосферу и водоемы. Для достижения необходимых показателей технологического процесса были выполнены обширные исследования, направленные на создание принципиально новой системы очистки стоков от ПХТММ.

Разработка проекта ПХТММ была начата в 2004 году для увеличения использования Светогорским комбинатом невостребованной на рынке осины и сравнительно недорогой электроэнергии. Это был грандиозный проект, потребовавший взаимодействия всех департаментов и производств, в особенности департамента волокна (целлюлозы), технического департамента, проектной команды. Причем, оценивались не только колоссальные результаты по введению в строй нового завода ХТММ, его пусконаладки, но и той нагрузки, которая легла на плечи людей, продолжавших работать на сульфатных заводах, каустизации, выпарке, регенерации, в котлотурбинном хозяйстве и др. Компания ожидала

полной отдаче в плане мощности, финансов и персонала, который был направлен на обучение с целью поддержки этого проекта, уже в 2008 году.

По архивным данным, в том числе из материалов газеты «Светогорский рабочий» за 2007-2008 гг., речь шла о том, что строительство ПХТММ являлось крупнейшей инвестицией в российскую целлюлозно-бумажную промышленность. По планам, на вывод нового завода на проектную мощность был отведен 1 год – по итогам многочисленных проверок, калибровки КИПиА, настройки автоматики и различного рода обучение персонала. Однако, в связи с увеличением объемов строительных работ, этот срок сократился до 6 месяцев. И уже в январе 2008 года, первом полном рабочем месяце, завод дал утроенную норму выработки продукции, продолжая превосходить прогнозы в течение всего периода выхода на проектную мощность.

В 2008 году, одна из шведских аналитических групп в своем отчете о состоянии дел на мировом рынке целлюлозы представила диаграммы, где было показано, что Светогорский комбинат, через год после пуска нового производства, уже производил одну из самых конкурентоспособных ХТММ в мире. На тот момент это означало, что систематическая оптимизация, контроль качества и затрат обеспечило на мировом уровне отличную репутацию Светогорскому комбинату, и его производству ХТММ.

3.4 Отбелка целлюлозы и древесной массы

Целью отбелки является увеличение белизны и улучшение чистоты целлюлозы. Это происходит либо за счет удаления, либо за счет осветления окрашенных компонентов не белёной целлюлозы. Остаточный лигнин является основным фактором, влияющим на цвет, поэтому для увеличения белизны лигнин нужно удалить или осветлить. В зависимости от цели производится отбелка для удаления лигнина и отбелка для сохранения лигнина.

Некоторые или все из перечисленных ниже целей обычно ставятся перед отбелкой:

- Увеличение белизны
- Улучшение долговечности
- Уменьшение содержания загрязнений
- Уменьшение содержания смолы

Кроме лигнина в древесине содержатся углеводы и экстрактивные вещества и очень слабо окрашен, но после щелочной варки и в результате реакций варки остаточные фрагменты лигнина в целлюлозе окрашиваются довольно сильно. Таким образом, отбелку проводят путем удаления остаточного лигнина. Большая часть лигнина (свыше 90%) растворяется при варке сульфатной целлюлозы. Однако щелочные химикаты для варки реагируют с лигнином, окрашивая его в темно-коричневый цвет. Таким образом, белизна древесного материала значительно снижается в начале сульфатной варки, даже несмотря на то, что лигнин растворяется. В конце сульфатной варки по мере растворения лигнина цвет древесного материала значительно уменьшается. После варки хвойная целлюлоза содержит 3,0-4,5% лигнина, а лиственная 2-3% лигнина, который и определяет ее цвет.

Белёная целлюлоза может иметь белизну до 95, небелёная целлюлоза может иметь интервал значений от 25 до 70%. Более высокая белизна получается при сульфитной варке, более темной получается целлюлоза, полученная натронной и сульфатной варках. Целлюлоза и гемицеллюлозы не оказывают влияние на цвет технической целлюлозы. Цвет целлюлозе придают хромофорные группы лигнина, которые образуются в результате окисления фенольных гидроксильных групп лигнина в хинонные, а также металлы переменной валентности, образующие с фенольными группами окрашенные комплексы. Воздействие света и атмосферного воздуха приводит к пожелтению целлюлозы, что можно наблюдать на различных бумагах, особенно с добавлением в композицию древесной массы.

Ниже, в таблице 3.3, приведена белизна некоторых волокнистых полуфабрикатов.

Таблица 3.3 – Сравнение белизны некоторых волокнистых полуфабрикатов

Наименование волокнистого полуфабриката	Белизна, ISO, %
Небеленые:	
Сульфатная хвойная целлюлоза	23-28
Сульфатная лиственничная целлюлоза	28-31
Дефибрерная древесная масса и ТММ	55-65
Сульфитная еловая целлюлоза	60-70
Полубеленые:	
Сульфатная хвойная целлюлоза	60-80
Дефибрерная древесная масса и ТММ	70-800
Беленые:	
Сульфатная хвойная целлюлоза	88-91
Сульфатная лиственничная целлюлоза	88-91
Сульфатная еловая целлюлоза для бумаги	89-93
Сульфатная еловая целлюлоза для химической переработки	90-95

Теоретически отбелка целлюлозы для производства офисной бумаги не должна вызывать значительных потерь прочности и качества волокна. На практике влияние отбелки на качество волокна зависит от технологических параметров ступеней отбелки, вариаций процесса, качества исходного сырья и химикатов. Как правило, целлюлоза из лиственных пород обесцвечивается легче, чем целлюлоза из хвойных пород.

Длина волокна при отбелке не изменяется, но за счет потери массы снижается линейная плотность волокна. Таким образом, в единице веса беленой целлюлозы содержится больше волокон. Это благоприятно влияет, например, на

прочность на разрыв. Благодаря удалению лигнина волокно легче набухает, повышается пластичность и гибкость волокна. С другой стороны, слишком большая потеря гемицеллюлоз может ухудшить адгезионную способность волокон, так что конечным результатом может быть также ослабление прочности бумажного листа.

Прочность волокон снижается по мере разрыва углеводных цепей. Однако, в результате указанных выше противоречивых факторов, умеренное снижение вязкости не считается ухудшением прочностных свойств целлюлозы. Способность к размолу при отбелке обычно улучшается.

В зависимости от условий отбелки в беленой целлюлозе существуют большие различия между стабильностью белизны и долговечностью. Белизна целлюлозы снижается при хранении и размоле, а белизна готовой бумаги - под воздействием тепла, влаги и света.

Древесную целлюлозу обычно отбеливают с помощью отбеливающих реагентов, удаляющих лигнин, а механическую массу (древесную массу) - с помощью отбеливающих реагентов, сохраняющих лигнин, но меняющих его спектр поглощения. В связи с этим, стабильность белизны при отбелке с удалением лигнина (белёная сульфатная целлюлоза) намного лучше, т.е. пожелтение происходит в меньшей степени.

Обычно делигнифицирующую отбелку проводят в несколько ступеней (этапов), как правило с промежуточной промывкой между ними. Многостадийный процесс необходим для плавной и мягкой отбелки, позволяющей максимально сохранить физическо-механические свойства целлюлозы. Многостадийная отбелка даёт наилучшие результаты как с точки зрения качества, так и экономичности. Различают щелочные и кислотные стадии отбелки, для достижения максимального эффекта, как правило, их чередуют. Наиболее важным фактором для получения хорошей стабильности белизны является эффективность заключительной стадии промывки. На заключительной пероксидной ступени удаляются вещества, полученные из углеводов и лигнинов,

таких как окисленная целлюлоза и ксиланы, а также о- и р-хиноидные структуры, образовавшиеся и не полностью удаленные на этапе обработки двуокисью хлора, поскольку они могут усиливать реверсию белизны волокон.

При отбелке чистота целлюлозы улучшается, удаляются пучки волокон и костра, остатки лигнина и коры. Химические вещества, используемые при отбелке, также эффективно растворяют экстрактивные вещества, содержащиеся в целлюлозе (например, смолу).

Волокно осветляется за счет удаления остаточного лигнина. Как мера для определения лигнина в целлюлозе используется число Каппа, которое характеризует способность целлюлозы поглощать перманганат калия и коррелирует с количеством лигнина.

На рисунке 3.22 показано изменение белизны целлюлозы после различных стадий делигнификации – варки, промывки, кислородной делигнификации, добелки.

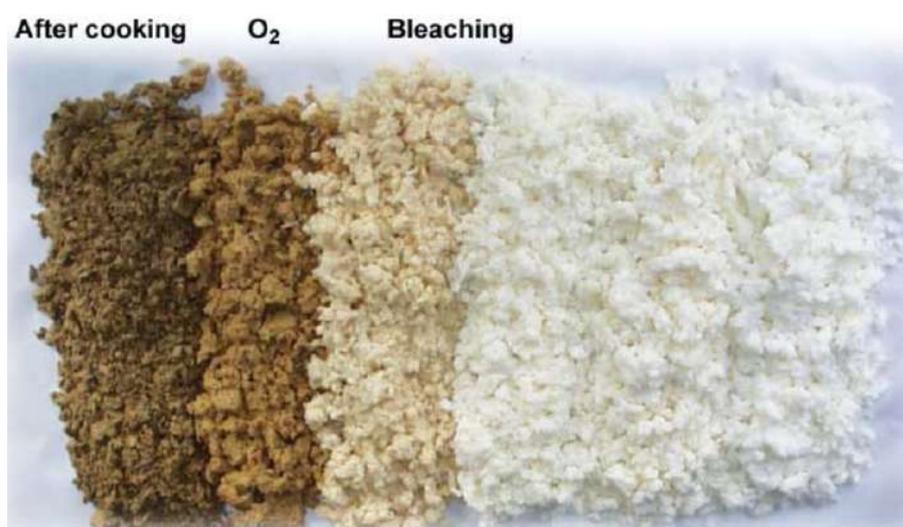


Рисунок 3.22 – Изменение белизны целлюлозы на стадиях отбелки

Отбеливающие химикаты можно разделить на три группы в зависимости от их функции:

1 группа - Хлор (Cl_2), озон (O_3) и перекисные кислоты (Paa и Саа) - реагирует со всеми ароматическими звеньями лигнина

2 группа - Диоксид хлора (ClO_2) и кислород (O_2) - обычно реагирует со структурами лигнина, имеющими свободные фенольные гидроксильные группы

3 группа - Гипохлорит (H) и перекись водорода (H_2O_2) - реагирует только с определенными функциональными группами

Как правило, конечная белизна не может быть достигнута за одну стадию; вместо этого необходимо использовать нескольких последовательных этапов. Традиционно отбеливание проводилось хлорсодержащими химическими веществами: хлором (элементарным или газообразным) (C), гипохлоритом (H) или диоксидом хлора (D). Между этапами растворенный лигнин экстрагируют щелочью (E). Типичными традиционными последовательностями отбеливания были CEHDED и CEDED . Принцип заключался в том, что подавляющее большинство остаточного лигнина удалялось самым дешевым химическим веществом, то есть хлором, и только последние остатки лигнина удалялись дорогим диоксидом хлора, который в промышленных масштабах начал применяться в конце 40-х годов 20 века.

Когда был сделан переход на рециркуляцию фильтратов отбеливающих заводов, с целью уменьшения сброса сточных вод отбеливающих заводов, температура стадии хлорирования начали повышать, что отрицательно сказалось на прочности целлюлозы. Чтобы предотвратить это, к стадии хлора добавили диоксид хлора, т.е. используемая последовательность стала $(\text{DC})\text{EDED}$ и в 1960 году была впервые получена целлюлоза белизной 90%.

С конца 60-х годов в промышленных масштабах начинает использоваться открытие кислородной отбелики советских ученых Г.Л. Акима и В.М. Никитина [2,48]. Реактор под давлением (EO) или предварительный реактор (Eo) позволили подмешивать небольшие количества газообразного кислорода на стадии щелочения, где кислород улучшает делигнификацию. Небольшие количества

перекиси водорода также могут быть использованы на щелочной стадии для улучшения делигнификации, перекись не требует реакторов под давлением.

Традиционная отбелка, включающая стадию элементарного хлора, долгое время была доминирующим методом. Еще совсем недавно, в 1990 году около 94% беленой целлюлозы в мире было произведено хлорным отбеливанием. Однако с тех пор ситуация изменилась, главным образом по экологическим причинам, из-за ужесточения норм содержания хлорорганических соединений, характеризующихся АОХ и диоксинов в сточных водах. Отбеливание ECF (Elemental Chlorine Free), при котором используется диоксид хлора, но не газообразный хлор, быстро стало обычным явлением. Страны Северной Европы полностью отказались от использования газообразного хлора при отбеливании целлюлозы в 1994 году, и с тех пор доминирующим методом является отбеливание ECF.

Целлюлоза также может быть полностью отбелена без применения хлорсодержащих веществ. Этот вид отбелки обычно известен под аббревиатурой TCF (Total Chlorine Free). Отбеливающие химикаты при отбеливании TCF представляют собой кислородсодержащие химикаты, такие как кислород, перекись водорода и озон. Линии отбелки, запущенные после 2000 года, в основном были линиями ECF и TCF (Рисунок 3.23).

Таким образом, офисная бумага марки ЭКО произведена из полуфабрикатов, для отбелки которых не применялись хлорсодержащие реагенты, лиственная целлюлоза, прошедшая стадию EOP (щелочение и обработка кислородом и перекисью водорода) и БХТММ, прошедшая отбелку TCF, и описанная в соответствующей главе диссертации.

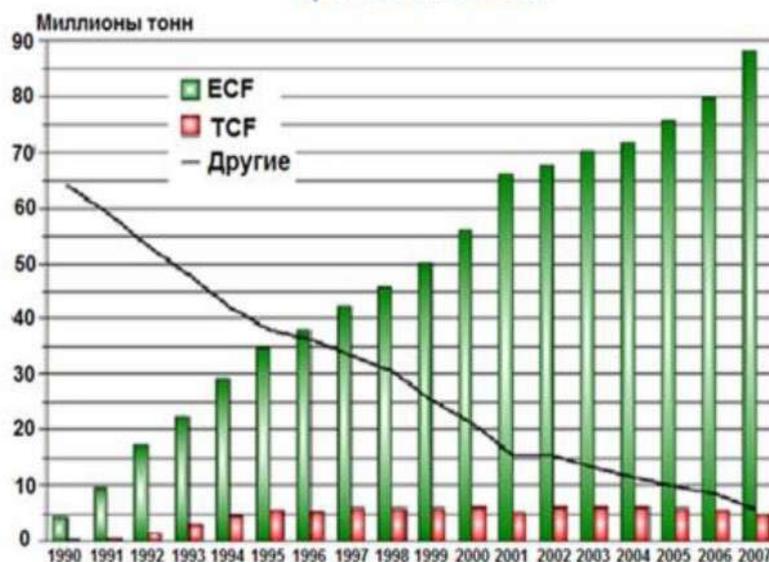


Рисунок 3.23 – Общемировой профиль производства белёной целлюлозы

3.5 Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы, осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях критерия оптимизации «минимизация сроков реализации». Синтез и анализ технологических схем при отказе от использования хвойной целлюлозы

Бумагоделательная машина БДМ №4, выпускающая офисную бумагу, получает волокнистые полуфабрикаты с трех технологических потоков (хвойной беленой целлюлозы, лиственной беленой целлюлозы и беленой химико-термомеханической массы - БХТММ из осиновой древесины), а также минеральный наполнитель – осажденный карбонат кальция. Интегрированные комбинаты в России, построенные по технологии от щепы до напорного ящика БДМ, позволяют достигать минимальной себестоимости и эффективно управлять качеством готовой продукции. В этом отношении Светогорский ЦБК – не только сложный интегрированный ЦБК, но и предприятие, все годы своего существования осуществлявшее и экспериментальные функции. Так, впервые на нем была осуществлена в промышленных масштабах кислородно-щелочная обработка целлюлозы (КЩО), являющаяся основой бесхлорной отбеливания целлюлозы во всем мире. Этими работами на Светогорске руководил

непосредственно «отец кислородной отбелки», профессор Гарри Аким [48]. Там же впервые в мире было осуществлено производство в промышленных масштабах инновационного продукта: многослойной бумаги для слоистых пластиков с направленным разделением функций слоев (разработка Кафедры ТЦКМ Университета). Впервые в стране на Светогорском ЦБК было осуществлено производство картона для жидких пищевых продуктов (разработка Тетра-Пака). Здесь впервые было осуществлено применение при производстве высококачественных видов бумаги полуфабрикатов высокого выхода, в частности беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) – обеспечившее использование малоценных и сорных пород древесины для производства высокотехнологичных, инновационных видов продукции с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, на ЦБК была реально проведена интеграция и мирового и отечественного опыта разработки и реализации самых современных наилучших доступных технологий. При этом, однако, продолжалось взаимодействие с отечественными университетами для научного и кадрового обеспечения и для решения технологических и экологических проблем.

Поэтому весной 2022 года при отказе финских компаний от поставок диоксида серы, как одного из видов сырья для производства диоксида хлора было принято решение о разработке технологии получения офисной бумаги из частично белёной целлюлозы. В условиях практического отсутствия в стране товарных запасов и полного прекращения импортных поставок речь шла не только о «технологическом суверенитете» Светогорского ЦБК, но и, практически, всей программы цифровизации России. Как потом оказалось, было поставлено под угрозу и проведение ЕГЭ и ОГЭ, т.е. мероприятий, затрагивающих большие социальные группы страны – практически всех абитуриентов. В этих условиях критерием оптимизации стала «минимизация сроков реализации». Учитывая, что хвойная целлюлоза отбеливается сложнее, чем лиственная, на этой стадии работы было принято решение осуществить синтез и анализ технологических схем при отказе от использования хвойной целлюлозы.

Для решения проблемы производительности системы размола и подачи массы на БДМ, была произведена модернизация размольных потоков с целью возможности подачи частично беленой лиственной целлюлозы по хвойному потоку. Это дало возможность перевести часть потока на хвойный сгуститель для заполнения башни хранения и далее дозировки лиственной целлюлозы на БДМ по потоку хвойной целлюлозы. В работе могут использоваться как одна мельница с удельной нагрузкой 40-60 кВт, так и две мельницы с суммарной удельной нагрузкой 80-100 кВт, что позволило получить дополнительный фактор управления мокрой частью БДМ. Средний помол – 22-24°ШР.

По лиственному потоку в работе осталась одна мельница с нагрузкой 25 – 30 кВт или две с суммарной нагрузкой 30-40 кВт. Средний помол – 21-23°ШР.

При выработке сорта «ЭКО» лиственное волокно всегда прорабатывается на 3 мельницах по двум потокам по следующим схемам в зависимости от баланса волокна в БВК и распределения потока:

1. использование двух мельниц на хвойном потоке и одной мельницы на лиственном потоке;
2. использование одной мельницы на хвойном потоке и двух мельниц на лиственном потоке.

Домалывающие мельницы работают на минимальных нагрузках (по 5 кВт) как при выработке сорта «С», так и сорта «ЭКО», это обусловлено высокой дозировкой ХТММ и низкой воздухопроницаемости.

По этим режимам, более подробно описанным в следующей главе диссертации в 2022 году была осуществлена опытно-промышленная выработка, по итогам которой были разработаны дополнения к нормативной документации и осуществлён переход на промышленной производство офисной бумаги ЭКО; всего в 2022 году было произведено 100 тысяч тонн офисной бумаги ЭКО.

3.6 Синтез и анализ технологических схем производства офисной бумаги из частично блененой целлюлозы, осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя в условиях критерия оптимизации - максимальная загрузка всех технологических потоков. Синтез и анализ технологических схем с использованием и частично белёной хвойной целлюлозы

Технологические решения, принятые при переходе на производство бумаги ЭКО, позволили в короткий срок решить проблемы устранения рыночной паники и бесперебойной работы БДМ4 как основного производителя офисной бумаги, правда при пониженной её производительности - на скорости 900 м/мин, при производительности 900 т/сутки. Однако, при этом на ЦБК также снизилось производство хвойной целлюлозы - за счет отказа от хвойной белимой целлюлозы. Поэтому была синтезирована новая, более сложная технологическая схема для производства бумаги ЭКО2 – с применением хвойной целлюлозы, прошедшей отбелку на потоке БХТММ с использованием для отбелки перекиси водорода, с последующей аэрофонтанной сушкой. Такая схема была реализована в 2023 году, в котором было выпущено около 50 тысяч офисной бумаги ЭКО2.

4 Экспериментальная часть

Идея создания сорта ЭКО заключается в использовании только частично блененой лиственной целлюлозы, которая из-за меньшего содержания лигнина имеет более высокую белизну после варки и промывки. Кроме того, использование ступени ЕОР в отбелке позволяет добиться окончательной белизны на уровне 40 %. По причинам, описанным выше, использование лиственной целлюлозы для производства офисной бумаги является базовым.

Можно было предполагать, что из-за разной плотности берёзовой и осиновой древесины при их совместной варке осиновая древесина проваривается

глубже и её роль, особенно в сочетании с использованием осиновой БХТММ, возрастает. Это и определило одну из задач экспериментальной части.

Основная проблема без использования хвойного волокна — это снижение прочностных свойств бумаги, что может негативно повлиять на работу БДМ. Нужно отметить, что положительного опыта использования только белёной лиственной целлюлозы для производства офисной бумаги ранее не было: бумажное полотно имело крайне низкую прочность, увеличивалось количество обрывов, возникали трудности с заправкой БДМ.

Однако, учитывая высокое содержание наполнителя РСС в офисной бумаге и специфику морфологической структуры БХТММ, представлялось необходимым рассмотреть роль частиц наполнителя и частиц мелочи в формировании структуры полотна бумаги.

В процессе опытно-промышленного испытания производства сорта «ЭКО» была отработана гипотеза, что частично белёное лиственное волокно, не подвергавшееся глубокой делигнификации в отбелке, но прошедшее **более глубокую делигнификацию при варке за счёт перехода от конечной Каппа 15, к конечной Каппа 10-12, будет иметь лучшие прочностные показатели.**

Кроме того, при целевой белизне 60+ невозможно использование оптических отбеливателей для тонкой регулировки белизны на накате, поэтому управление этим параметром осуществлялось **дозировкой РСС с белизной 92-95 % и БХТММ с белизной 78-83 %.**

В соответствии с режимными картами:

- Снижение целевого значения Каппа на варке с 14–15 до 13–14 ед. Каппа за счет увеличения температуры ПФ до 162–164 °С;

- Снижение целевого значения числа Каппа после КЩО с 9,8–10,2 до 7,5–8,5 ед. Каппа, за счет увеличения дозировки кислорода и каустика (доступные химикаты). Повышение степени делигнификации;

- В отбелке в работе 1 ступень ЕОР. Дозировка химикатов H_2O_2 , NaOH, O_2 — для обеспечения целевых показателей по белизне 38–40 %.

Соответственно, в экспериментальной части работы на пилотной установке ВШТЭ проводились совместные варки осиновой и берёзовой щепы и их смеси с последующим анализом морфологии полученных волокон.

4.1 Разработка технологии офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы из смеси берёзовой и осиновой древесины, осинового БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя

4.1.1 Исследование влияния варки смеси берёзовой и осиновой щепы на морфологическую структуру и водоудержание волокна [12]

В данном разделе работы, применительно к новому виду офисной бумаги «ЭКО», рассмотрены различия берёзовой и осиновой щепы при совместной сульфатной варке смеси пород перед кислородно-щелочной обработкой. Показано, что осиновая щепа проваривается глубже берёзовой, а водоудержание осинового целлюлозы в три-четыре раза, ниже, чем у берёзовой.

Как уже отмечалось выше, важнейшей стадией получения бумаги «ЭКО» является получение частично беленой лиственной целлюлозы путем совместной варки древесины березы и осины, с последующей кислородно-щелочной обработкой [3, 12, 48]. Эти две породы древесины имеют существенные отличия. Основные различия заключаются в плотности древесины и их структуре.

Задачей данной части исследования было изучить влияние совместной варки на глубину провара, на показатель водоудержания, а также на морфологические свойства волокна. Варка проводилась на оригинальной лабораторной варочной установке (Рисунок 2.1), имеющей не только систему принудительной циркуляции, но и приведённую на рисунке 2.2 оригинальную трёхъярусную вставку в пилотную варочную установку.

В качестве лабораторного режима варки был взят технологический режим, аналогичный технологическому регламенту производства целлюлозы на Светогорском ЦБК. Для чистоты эксперимента варочного процесса, первоочередной задачей представлялось разделение технологической щепы на

березовую и осиную. Для этого использовалась варочная корзина с разделителями [64]. Это позволило выполнить варку щепы березы, осины и смеси параллельно, т.е. трёхъярусно при соблюдении одинаковых условий. Разделение щепы перед варкой производилось визуально, с использованием для окраски раствора NaOH при концентрации $C = 4\%$ [65]. Щепы осины и березы после обработки раствором приобретали характерный цвет. Щепы березы окрашиваются в коричневый, а щепы осины — в светло-желтый цвет (см. выше Рисунок 2.3). Для варочного процесса щепы были уложены в три слоя: – нижний (1-ый) слой – 100 % осина; – средний (2-ой) слой – 100 % береза; – верхний (3-ий) слой – 15 % осины и 85 % березы.

Необходимые навески щепы были помещены в варочную корзину [64]. Для полученного полуфабриката определялись жесткость (ед. Каппа), показатель водоудержания. Кроме того, был проведен анализ структурно-морфологических характеристик волокон на приборе Морфи. После этапа пропарки при температуре $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, конденсат, образовавшийся в результате пропаривания, выводится из системы. Затем в котел производилась заливка варочного раствора. Нагрев варочного раствора осуществляется постепенно. Сначала идет нагрев до $107\text{ }^{\circ}\text{C}$, для моделирования промышленного режима варки, затем температура повышается до $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего выполняется стоянка (пропитка) при этой температуре. Далее температура повышается до $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проводится непосредственно варка - стоянка при этой температуре. Чтобы постепенно остановить процесс варки, циркулирующий раствор охлаждается с помощью теплообменника до $40\text{...}65\text{ }^{\circ}\text{C}$. В завершение всех этих этапов необходимо делается отбор щелока из котла и выполняется промывка целлюлозы на сеточном промывном устройстве. На верхнем сите остается непровар, а кондиционные волокна проходят через верхнее сито с отверстиями диаметром 1 мм и затем подвергаются отжиму. После варочного процесса определяется степень делигнификации, а также водоудерживающая способность и морфология волокна.

Результаты и их описание. В таблице 4.1 приведены результаты варок на пилотной установке ВШТЭ.

Таблица 4.1 – Сравнительная таблица показателей после варки щепы осины, берёзы и их смеси

	Смесь	Осина	Береза
Жесткость, ед. Каппа	17,5±0,5	11,65±0,35	17,6±0,7
Лигнин*, %	2,62	1,75	2,64
Выход, %	48,2±2,0	45,6±1,2	46,4±1,6
Водоудержание по Джайме, %	520±5	162±15	700±18
Катионная потребность, мк-экв/л	–16	–21	–22
Дзета-потенциал, mV ξ-потенциал, mV	–64,1	–66,4	–59,3
Длина волокон, мм	0,840±0,030	0,790±0,040	0,885±0,013
Ширина волокон, мкм	22,6±0,2	23,0±0,6	21,2±0,7
Мелочь, % по площади	4,18±0,60	5,55±0,24	4,96±0,05

*Зависимость между числом Каппа и содержанием лигнина при коэфф. 0,15.

Как известно, по числу Каппа, пользуясь коэффициентом пересчета, можно определить содержание лигнина в целлюлозных материалах. Однако величина этих коэффициентов зависит от способа получения целлюлозы, породы древесины, а также от факторов варки [2]. Поэтому принятый для всех типов целлюлоз коэффициент пересчета (равный 0,13) был в дальнейшем подвергнут проверке и уточнению [2]. Оказалось, что он не одинаков для сульфитных (0,17) и сульфатных (0,15) целлюлоз. Поэтому в данном разделе работы этот коэффициент принят равным 0,15.

Из представленных в таблице 4.1 данных видно, что в условиях совместной варки осиневая древесина проваривается значительно глубже, чем березовая (разница в Каппа на 6 единиц). Это позволяет полагать, что последующая кислородно-щелочная обработка ЕОР (щелочение с кислородом и пероксидом водорода) приведет к существенному росту белизны осиневой целлюлозы. При этом разница в выходе осиневой и березовой целлюлозы оказывается не столь

существенной. Обращает на себя внимание значительные различия в водоудержании (по Джайме) осиновой и берёзовой целлюлозы. Эти данные были подтверждены и на промышленных образцах.

Изучение **морфологических особенностей** частично блененной лиственной целлюлозы, полученной из смеси берёзовой и осиновой древесины и БХТММ проводилось с использованием анализатора волокна Морфи. В таблице 4.2 приведены результаты изучения морфологических особенностей частично блененной лиственной целлюлозы, полученной из смеси берёзовой и осиновой древесины и БХТММ, а на рисунке 4.1 приведены гистограммы для этих образцов, полученные с использованием анализатора волокна Морфи.

Таблица 4.2 – Структурно-морфологические характеристики волокон берёзы, осины и их смеси

Характеристики	Берёза		Осина		Смесь 85/15	
	1-я варка	2-я варка	1-я варка	2-я варка	1-я варка	2-я варка
Длина волокон, мм	0,910	0,898	0,873	0,748	0,880	0,869
Ширина волокон, мкм	21,9	21,9	24,1	23,7	22,6	22,4
Угол изгиба, град	133	135	132	131	132	133
Скручиваемость волокон, %	6,20	6,40	6,60	7,60	6,60	6,60
Процент от площади мелочи, %	5,59	5,01	5,28	5,78	4,36	4,91
Грубость, мг/м	0,1539	0,0759	0,1561	0,0750	0,1525	0,0742

Сравнительная характеристика показателей по морфологии небелёной лиственной целлюлозы и БХТММ (бумага «ЭКО») производства Светогорского

ЦБК представлены в таблице 4.3 и на рисунке 4.1; исследование проводилось на анализаторе морфологии волокна Морфи Компакт.

Таблица 4.3 – Сравнение морфологии частично беленой лиственной целлюлозы и БХТММ (бумага «ЭКО») производства Светогорского ЦБК (на анализаторе морфологии волокна Морфи-Компакт). Композиция бумаги ЭКО: БХТММ – 40 %; частично белёная лиственная целлюлоза – 60 %; РСС (20-23 %).
Выработка 28.06.2022

Волокнистые полуфабрикаты	Среднеарифметическая длина, мм	Средневзвешенная длина, мм	Ширина, мкм	Грубость, мг/м	Поврежденные концы, %	Мелочь, %	
						Отн-но к ср. арифм. длине, %	Площадь мелочи к общей площади объектов, %
БХТММ	0,656	0,856	26,6	0,1474	33,13	51,1	13,25
небеленая лиственная	0,819	0,957	20,8	0,0769	19,32	17,7	3,46

Из проведенного анализа волокнистых полуфабрикатов, а именно БХТММ и частично беленой лиственной целлюлозы (береза/осина) на приборе Морфи Компакт, и сравнения полученных морфологических характеристик можно сделать следующие выводы:

1. Волокно БХТММ короче волокна лиственной целлюлозы. Средняя взвешенная длина волокна БХТММ меньше на 0,1мм. Наблюдается более равномерное изменение средневзвешенной длины БХТММ (см. гистограмму) в интервалах длины от 0.2- 1,0 мм. Т.е. масса БХТММ более однородна по волокну, чем масса лиственной целлюлозы (у которой наблюдаются резкие скачки длин в интервалах длины волокна);

2. Волокна БХТММ в среднем имеют ширину больше на 6 мкм;

3. Более грубое волокно у волокон БХТММ, объясняется, наверное, тем, что волокно более широкое и, видимо, средняя толщина стенки волокна больше (на грубость влияет средняя толщина стенки волокна);

4. Больше изогнутых волокон (в 3 раза) наблюдается у лиственной целлюлозы, т.к. они более тонкие, длинные и тонкостенные. Этим объясняется и большая подвижность и, соответственно, большая скручиваемость (известость) волокон лиственной целлюлозы.

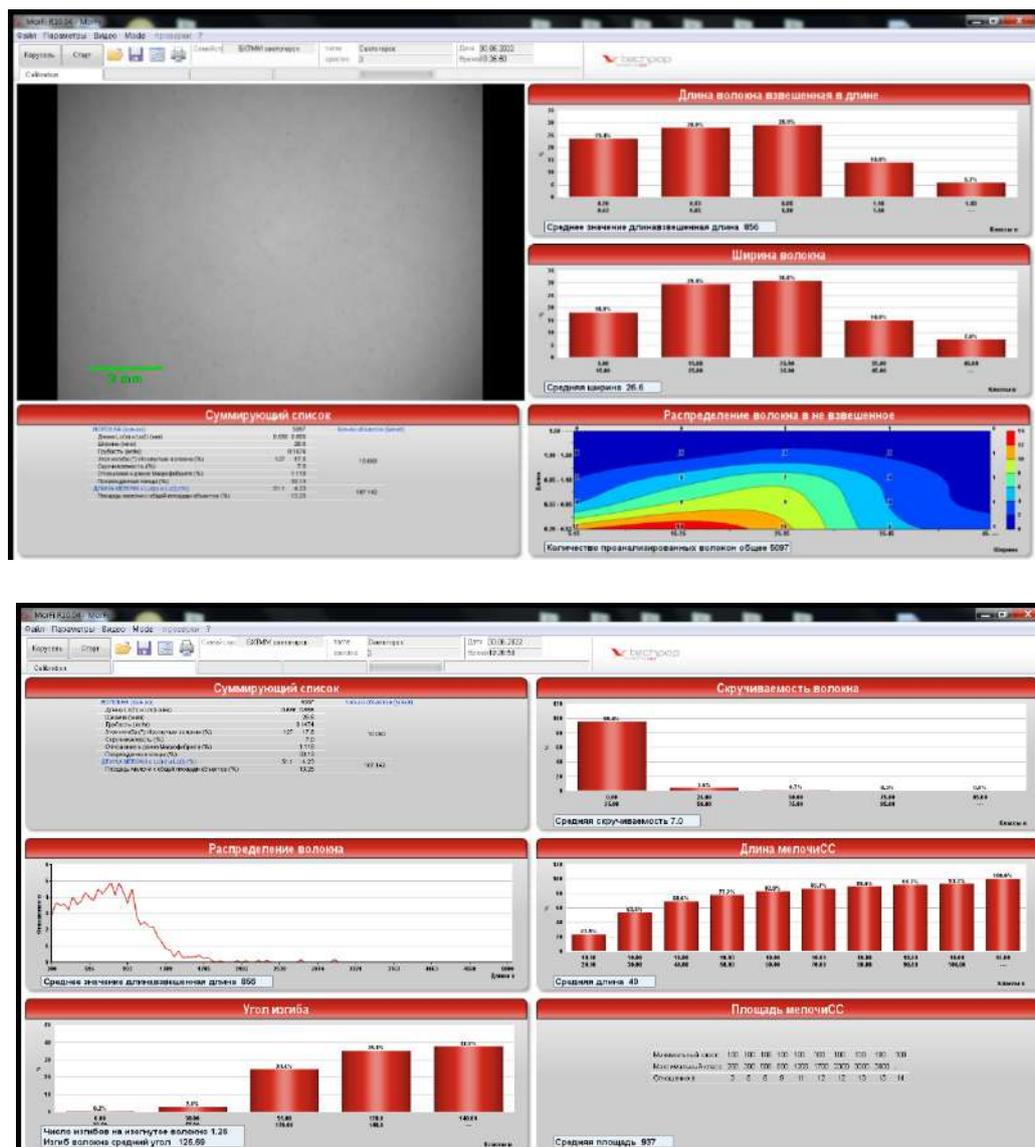


Рисунок 4.1 – Сравнительная характеристика морфологических показателей небелёной лиственной целлюлозы (вверху) и БХТММ (внизу)

5. Поврежденных концов у волокон БХТММ больше, т.к. волокна БХТММ обрабатывались механически и химически, плюс отбелка, что повлекло за собой большее повреждение волокна. Это в свою очередь скажется на ухудшенном связеобразовании при формовании бумажного полотна. Наверное, этим (в какой-то мере, можно объяснить неоднородность на просвет бумажного листа ЭКО);

6. Содержание первичной мелочи у БХТММ значительно больше и мелочь крупнее, чем у лиственной целлюлозы.

Обращает на себя внимание повышенное содержание мелочи в БХТММ.

Таблица 4.4 – Структурно-морфологические характеристики волокнистых полуфабрикатов [118]

Характеристики	Лиственная	Хвойная	БХТММ	БХТММ 40°ШР	Х+Л 40°ШР
Средняя длина, мм	0,938	1,888	0,887	0,745	1,150
Средняя ширина, мкм	21,3	27,3	27,3	27,8	26,1
Средний фактор формы, %	89,5	82,1	91,8	93,4	89,2
Содержание мелочи, % (< 0,2 мм)	3,1	4,2	8,8	11,1	3,9
Грубость, дг	115	200	166	166	174
Средний угол излома, град	50,9	57,0	50,0	48,4	55,2
Число изломов на мм	0,541	0,830	0,277	0,156	0,442
Число больших изломов на мм	0,148	0,317	0,076	0,038	0,143
Число изломов на волокно	0,125	0,422	0,063	0,028	0,134
Средняя длина сегмента, мм	0,726	1,059	0,845	0,783	0,937

Следует отметить, что этот факт почти не описан в литературе, исключение составляет статья Лысаченковой М.М. и проф. Казакова Я.В. «Бумагообразующие свойства белёных волокнистых полуфабрикатов высокого выхода с пониженной ресурсоёмкостью», результаты которой приведены в таблице 4.4 [118]. Авторы отмечают большое значение морфологического анализа, особенно для механических масс [119-120].

4.1.2 К вопросу о роли мелочи и наполнителя при формировании структуры бумажного полотна и в проблемах удержания наполнителя при отливе бумажного полотна

Если в предыдущих исследованиях [16-18] рассматривалась роль релаксационного состояния полимерных компонентов древесины в формировании прочностных и физико-механических свойств бумаги и картона, то в данной работе большее внимание уделено рассмотрению роли морфологии бумагообразующих волокон и процессов взаимодействия компонентов бумажной массы на сеточной части БДМ, включая роль высокодисперсного наполнителя и «мелочи», определяемой на приборе Морфи.

Современная офисная бумага представляет собой многослойный органоминеральный композит (Рисунок 1.1, стр. 10), при производстве которого реализуются различные механизмы – от послойного формования до образования взаимопроникающих сеток: фибриллярно-волокнистой сетки и сетки минерального наполнителя на основе осажденного карбоната кальция. Происходящие при этом процессы достаточно сложны и многообразны; их обычно называют «химией мокрой части» или проблемами «удержания». Они рассмотрены в ряде монографий [16, 19, 20] и являлись предметом докладов и дискуссий на ряде симпозиумов и конференций [21, 22]. Для направленного управления технологическим процессом необходимо воздействие на факторы,

влияющие на удержание проклеивающих веществ, наполнителя и мелкого волокна. Как известно, удержание при отливе бумаги мелкого волокна, наполнителя и проклеивающих веществ обеспечивается за счет использования агентов удержания или сложных многокомпонентных систем удержания. Механизм действия агентов и систем удержания может быть различен, и, по-видимому, более правильно говорить об одновременной реализации нескольких механизмов и вкладе каждого из этих механизмов в общую величину удержания. Основные механизмы описаны в литературе [45, 50-52] и были приведены в недавней работе [45].

Сопоставление состава по волокну офисной бумаги ЭКО и офисной бумаги марки С показывает, что в бумаге марки С на 30% БХТММ и 40% лиственной целлюлозы приходится 30% хвойной целлюлозы, которая полностью заменена на лиственную целлюлозу в бумаге ЭКО. При этом содержание РСС в бумаге ЭКО, как будет показано в следующем разделе диссертации, несколько снижено (с 23-23,5 до 19-21%).

Как отмечалось в работах Э.Л. Акима [45], в основе процессов бумагообразования и формирования прочности бумажного листа лежит направленное изменение релаксационных состояний полимерных компонентов древесины. При получении бумаги в образовании межфибриллярных водородных связей принимает участие полимер, находящийся на поверхности фибрилл. В [45] было показано, что при переходе от хлопковой целлюлозы к беленой древесной целлюлозе, небеленой целлюлозе и далее к древесной массе меняется вид полимера, находящегося на поверхности фибрилл, поэтому для разных видов бумаги вклад лигнина, гемицеллюлоз и целлюлозы в формирование прочности бумажного листа изменяется в широких пределах.

В бумаге из хлопковой целлюлозы межволоконные связи обеспечиваются структурными изменениями при сушке самой целлюлозы. При получении бумаги из древесной массы или не полностью делигнифицированной древесной целлюлозы на поверхности фибрилл находятся продукты механо- или

хемодеструкции нативного лигнина, которые и являются таким полимером-связующим [121, 122]. На бумагоделательной машине при направленном изменении влажности (сушке) происходит застекловывание всех полимерных компонентов древесины.

Для целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина вода является пластификатором, обеспечивающим их перевод в высокоэластическое состояние, при этом в процессе сушки происходит стеклование бумагообразующих полимеров. Однако, как показано в данной работе, наряду с направленным изменением релаксационных состояний полимерных компонентов древесины наблюдаются также достаточно сложные процессы, протекающие на структурном уровне как с участием элементарных фибрилл и мелочи (определяемой на анализаторе Морфи), так и активного минерального наполнителя. Особую роль при этом играют водорастворимые полимеры, являющиеся компонентами систем удержания.

Применительно к офисной бумаге именно производство частично белёной офисной бумаги может рассматриваться как очередной «технологический взрыв», позволяющий существенно снизить карбоновый след материала, благодаря переходу к необходимому и достаточному уровню белизны. Анализ многочисленных работ, посвященных использованию водорастворимых полимеров для улучшения обезвоживания, повышения удержания наполнителей и мелочи, и сопоставление полученных в них экспериментальных данных с рассмотрением диаграммы состояний системы полимер – растворитель позволяют предположить описанный ниже механизм улучшения обезвоживания, удержания наполнителей и мелочи при введении в бумажную массу водорастворимых полимеров. Согласно этому механизму, при введении в бумажную массу водорастворимых полимеров и высокодисперсных наполнителей протекает ряд последовательно-параллельных процессов, значительно меняющих структуру водо-волокнистой суспензии и получаемого мокрого бумажного полотна дисперсной системы, формирующейся в мокрой части бумагоделательной

машины и оказывающих значительное влияние на структуру каждого из компонентов системы полимер–растворитель как жидкой (растворитель–полимер), так и твёрдой фазы (полимер–наполнитель–растворитель).

Первым из этих процессов является взаимодействие функциональных групп водорастворимого полимера с функциональными группами мелочи, целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, приводящее к образованию ассоциатов различного типа. При использовании полиэлектролитов образуются полиэлектролитные комплексы за счет их взаимодействия с карбоксильными группами, находящимися на поверхности бумагообразующих волокон (размолотых волокнистых полуфабрикатов). Количество этих групп связано с дзета-потенциалом волокон, и поэтому его измерение может быть использовано для контроля за образованием полиэлектролитных комплексов. При этом, однако, необходимо отметить, что дзета-потенциал является интегральной характеристикой поверхности волокон, в то время как образование полиэлектролитного комплекса представляет собой единичный акт, в котором участвует одна из находящихся на поверхности функциональных групп. Взаимодействие функциональных групп водорастворимого полимера с функциональными группами мелочи и бумагообразующих волокон может происходить также как за счет Ван-дер-Ваальсовских сил, так и образования водородных связей. По-видимому, большое значение при этом имеет близость значений параметра растворимости Гильдебранда и его составляющих у взаимодействующих макромолекул; с другой стороны, важную роль играет и пространственный фактор — стерическое соответствие взаимодействующих макромолекул, их конгруэнтность. Количественная оценка вклада каждого из этих механизмов должна делаться отдельно для каждой системы.

В образовании ассоциатов участвуют также и растворенные при размолотии гемицеллюлозы, и водорастворимые полимеры, входящие в состав систем удержания. В итоге в системе образуются ассоциаты различных типов, включающие в себя макромолекулы водорастворимых полимеров, находящиеся в

растворе молекулы гемицеллюлоз, микрофибриллы размолотых волокнистых полуфабрикатов, а также частицы высокодисперсных наполнителей. При этом волокна, пучки фибрилл и фибриллы выполняют функции матрицы, на которой локализуются и ориентируются образующиеся комбинированные ассоциаты. Наличие в системе фибрилл и частиц наполнителя приводит к преимущественному протеканию фазового разделения по нуклеационному механизму, при котором гетерофазные флуктуации, представляющие собой зародыши новой фазы, формируются на фибриллах и частицах наполнителя.

При протекании фазового разделения может реализовываться еще один механизм фиксации — структурная фиксация сегментов макромолекул водорастворимого полимера, проникших в расстеклованные аморфные области, межфибриллярные пространства, капилляры и поры с последующим изменением подвижности за счет изменения качества растворителя, рН или температуры. Другой причиной структурной фиксации может являться изменение размеров статистического клубка и конформации макромолекул, как за счет гидродинамического поля, так и за счет образования полиэлектролитных комплексов. Образованию ассоциатов способствует также и «перекрывание» статистических клубков микрофибриллами.

В результате в системе образуется трехмерная пространственная лабильная сетка, состоящая из макромолекул, микрофибрилл, частиц наполнителя, мелочи и волокон, т. е. создается структура типа легко разрушаемого геля. Если учесть, что все эти процессы происходят на сетке БДМ, движущейся со скоростью около 1000 метров в минуту и, можно предполагать, что в основном завершаются до так называемой «сухой линии» на БДМ, то речь идёт о миллисекундах... Такая структура занимает промежуточное положение между дисперсной системой и студнем. Образующаяся сетка фиксирует пространственную структуру надволоконных образований (флокул), включая мелкие волокна и наполнитель и способствуя повышению их удержания. Благодаря присутствию в размолотых образцах целлюлозы большого количества отделившихся фибрилл, в системе

возможно образование взаимопроникающих сетей с перекрещиванием фибрилл, макромолекул водорастворимого полимера, высокодисперсных наполнителей и «мелочи», фиксируемой на анализаторе Морфи.

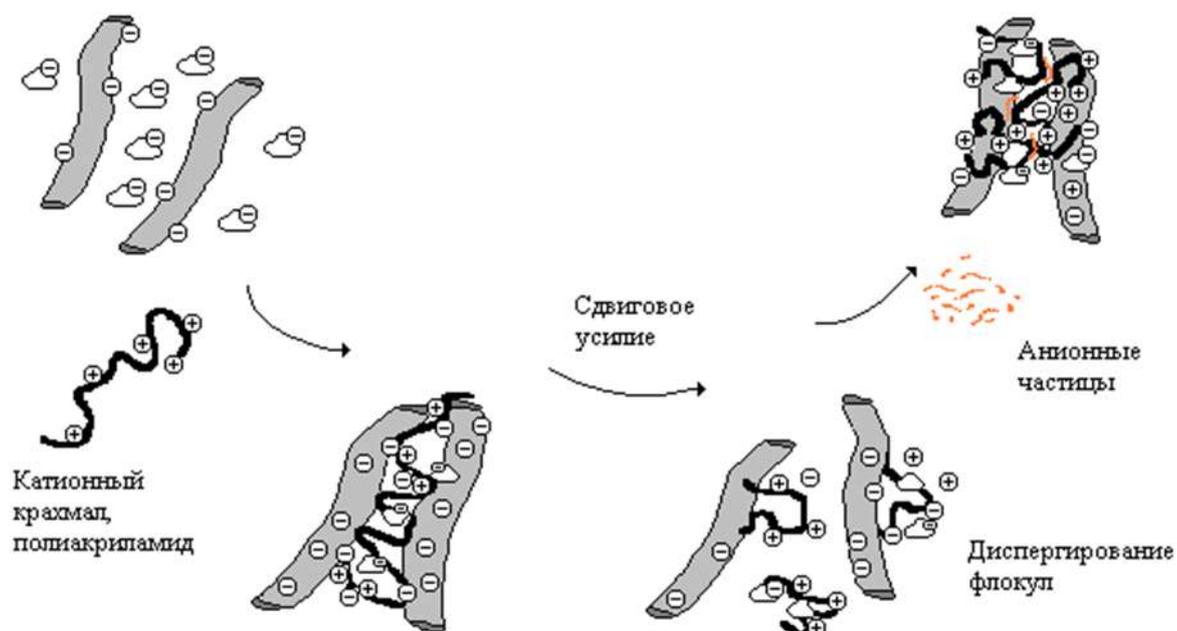


Рисунок 4.2 – Многокомпонентные системы удержания [45, 51, 52, 121-124]

Таким образом, образующаяся при введении водорастворимых полимеров в бумажную массу сетка выполняет несколько функций. Во-первых, аналогично рыболовной сети, она удерживает мелкие волокна и наполнитель, а имеющиеся в макромолекулярной цепи полиэлектролита заряженные функциональные группы играют роль капканов, захватывающих заряженные частицы наполнителя и мелкого волокна. Во-вторых, макромолекулы водорастворимого полимера «упаковывают» фибриллированные волокна (аналогично упаковке новогодней елки шпагатом), уменьшая гидравлическое сопротивление около волоконного пространства. В-третьих, макромолекулы водорастворимого полимера вовлекают из жидкой фазы в надмолекулярные ассоциаты растворенные гемицеллюлозы. С этих позиций могут быть объяснены практически все экспериментальные факты,

относящиеся к влиянию водорастворимых полимеров на процесс обезвоживания и сушки, а также на удержание наполнителя и мелкого волокна.

Использование современных систем удержания и обезвоживания базируется на направленном осуществлении сложных физико-химических и коллоидно-химических процессов. Обычно в одной и той же системе реализуются несколько различных механизмов удержания в зависимости от типа и количества используемых химикатов (Рисунок 4.2) [45].

4.2 Опытно-промышленные выработки офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины, осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя) и её промышленная технология

Как уже неоднократно отмечалось выше, отличительной особенностью данной работы является проведение основного эксперимента в промышленных условиях на БДМ № 4 в г. Светогорске. В то же время параллельно с промышленным экспериментом в ВШТЭ СПбГУПТД и ФИЦХФ РАН осуществлялись и теоретические исследования данного процесса.

При проведении опытно-промышленной выработки и переходе к промышленному производству бумаги ЭКО мы исходили из ГОСТ Р 15.301-2016 «Система разработки и постановки продукции на производство ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. Порядок разработки и постановки продукции на производство» [126]. Одновременно были начаты работы по внесению соответствующих дополнений в нормативную документацию и расширению марок выпускаемой офисной бумаги [127].

4.2.1 Опытно-промышленные выработки офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы

Для удобства изложения повторим здесь, на рисунке 4.3, приводившуюся ранее, на рисунке 1.5, схему композиции и структуры белых видов бумаги,

выпускавшихся в Светогорске к февралю 2022 года.

В 2022 году офисную бумагу ЭКО изготавливали вообще без хвойной целлюлозы; в этом случае частично белёную лиственную целлюлозу размалывали на мельницах и «хвойного» и лиственного потоков; изменение степени помола на этих потоках показано на рисунке 4.4. Из сопоставления данных по композиции традиционной белой офисной бумаги и бумаги ЭКО видно, что первая задача, возникающая при переходе к производству бумаги ЭКО сводится к подаче лиственной частично-белёной целлюлозы на БДМ. Соответственно было принято решение осуществлять размол этой целлюлозы как на линии лиственной целлюлозы, так и на линии хвойной целлюлозы, т.е. задействовать размольное оборудование обеих этих линий.

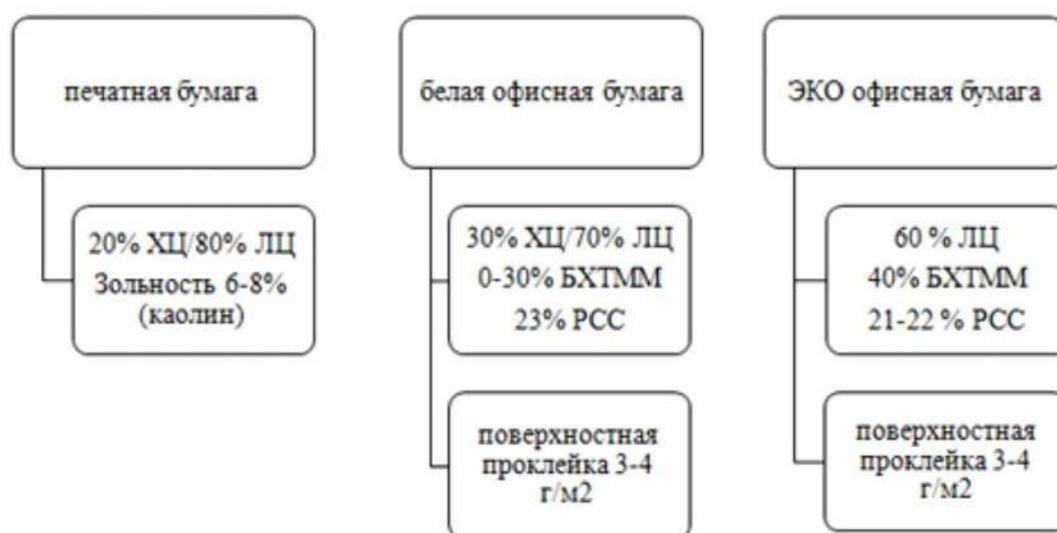


Рисунок 4.3 – Композиция и структура белых видов бумаги, выпускающихся в Светогорске (ХЦ — хвойная целлюлоза; ЛЦ — лиственная целлюлоза; БХТММ — белая химико-термомеханическая масса; РСС — Precipitated Calcium Carbonate — осажденный карбонат кальция)

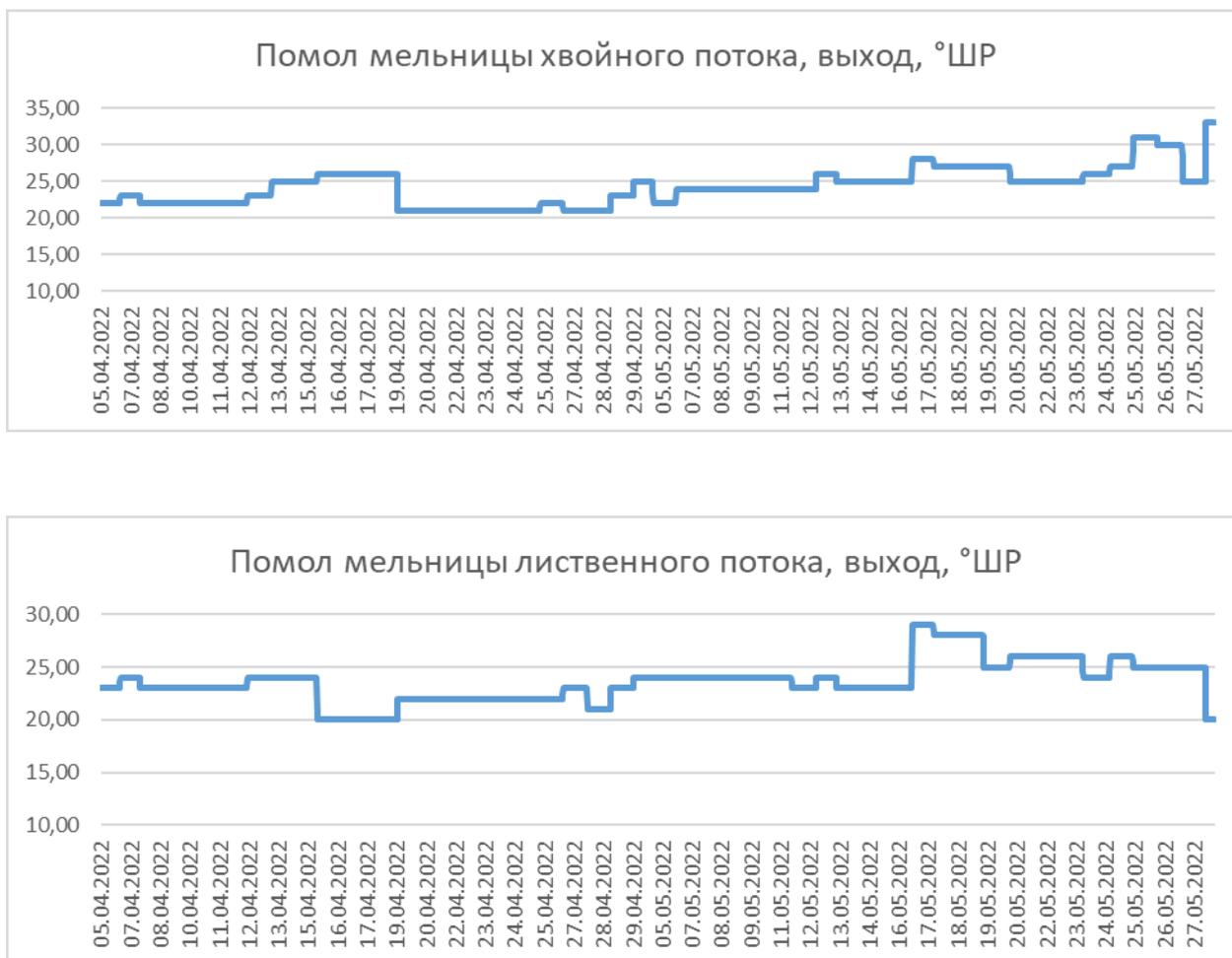


Рисунок 4.4 – Распределение частично белёной лиственной целлюлозы по хвойному (вверху) и лиственному (внизу) потокам при производстве бумаги ЭКО

В работе могут использоваться как одна мельница с удельной нагрузкой 40–60 кВт, так и две мельницы с суммарной удельной нагрузкой 80–100 кВт, что позволило получить дополнительный фактор управления мокрой частью БДМ. Средний помол — 22–24 °ШР. По лиственному потоку в работе осталась одна мельница с нагрузкой 25–30 кВт или две с суммарной нагрузкой 30–40 кВт. Средний помол — 21–23 °ШР.

При выработке марки «ЭКО» лиственное волокно всегда прорабатывается на трёх мельницах по двум потокам по следующим схемам в зависимости от баланса волокна в БВК и распределения потока:

1. Использование двух мельниц на хвойном потоке и одной мельницы на лиственном потоке;

2. Использование одной мельницы на хвойном потоке и двух мельниц на лиственном потоке.

Домалывающие мельницы работают на минимальных нагрузках (по 5 кВт) как при выработке марки «С», так и марки «ЭКО», это обусловлено высокой дозировкой ХТММ и низкой воздухопроницаемостью.

При производстве марки «ЭКО» без использования хвойной целлюлозы увеличение и снижение зольности влияет на механическую прочность. А при увеличении расхода брака механическая прочность снижается существенно.

На рисунке 4.5 приведены данные по исследованию морфологического анализа лиственной целлюлозы после кислородно-щелочной обработки.

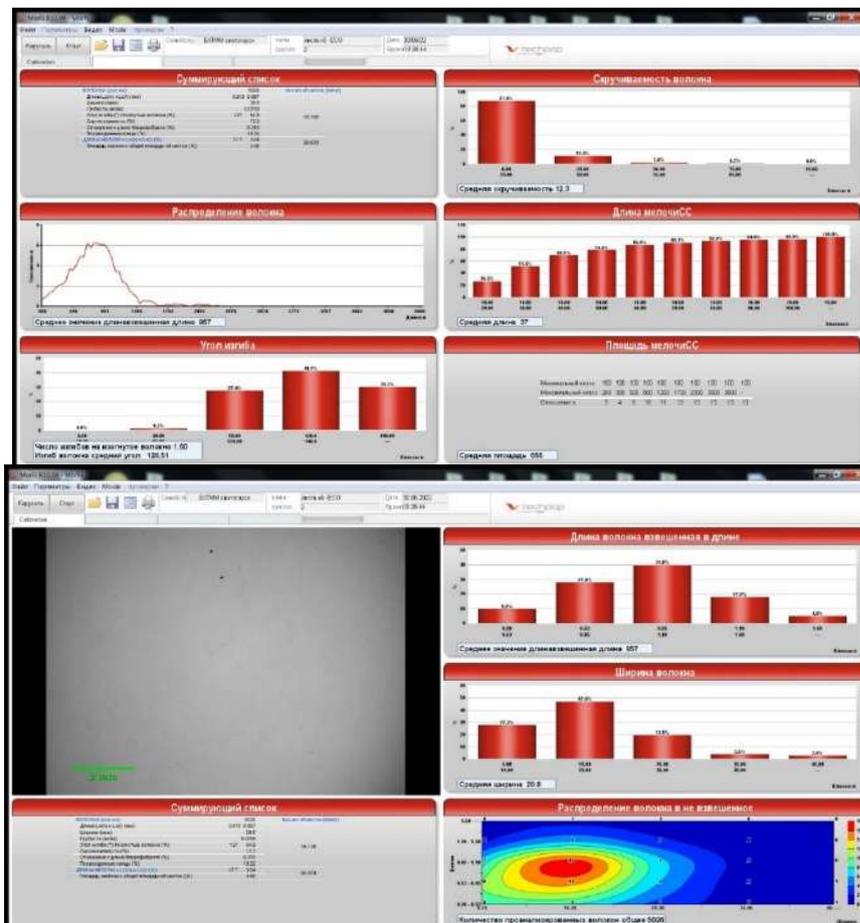


Рисунок 4.5 – Лиственная целлюлоза после кислородно-щелочной обработки

Наполнитель для офисной бумаги должен обладать высокой белизной и хорошей непрозрачностью - этим требованиям хорошо соответствует РСС с определенными размерами частиц и формой. Процесс его получения, как рассматривалось выше, основан на реакции гидроксида кальция с углекислым газом при тщательно контролируемых параметрах реакции и введением специальных добавок-нуклеаторов для получения кристаллов нужных форм и размеров. При этом преобладают кристаллы скаленоэдрической формы (скаленоэдр - призма, состоящая из равных разносторонних треугольников). Белизна наполнителя - не менее 93,0%; средний размер частиц - 1,6–2,8 мкм; удельная площадь поверхности частиц - 4,5–9,5 м²/г; общее содержание сухого вещества -16,0–20,0%.

Как уже указывалось выше, идея создания офисной бумаги сорта ЭКО заключается в использовании только частично белёной лиственной целлюлозы, которая, из-за меньшего содержания лигнина после варки и промывки, имеет более высокую белизну. Кроме того, использование ступени окислительного щелочения (EOP) в отбелке позволяет добиться окончательной белизны на уровне 40%. В процессе опытно-промышленного испытания производства марки ЭКО была отработана гипотеза, заключающаяся в том, что небеленое лиственное волокно, не подвергавшееся окончательной делигнификации при отбелке, но прошедшее более глубокую делигнификацию при варке со степенью делигнификации Каппа от 15 до 10-12, будет иметь не только лучшие прочностные показатели, но и повышенную белизну. Как показали варки на пилотной установке ВШТЭ, в условиях совместной варки (табл. 4.1) осинвая древесина проваривается глубже, чем берёзовая (содержание остаточного лигнина 1,75 и 2,64%); это позволяет полагать, что на ступени окислительного щелочения (EOP) именно осинвая древесина вносит свой вклад в общую белизну бумаги. Тонкая регулировки белизны осуществлялась дозировкой в композиции РСС с белизной 92-95% и БХТММ с белизной 78-83%. Было установлено, что при производстве марки «ЭКО» без использования хвойной целлюлозы на

механическую прочность влияет увеличение и снижение зольности, а при увеличении введения в композицию оборотного брака - механическая прочность снижается существенно. Расходы удерживающих веществ при производстве офисной бумаги марки С и бумаги ЭКО были увеличены в два раза (Рисунок 4.6).

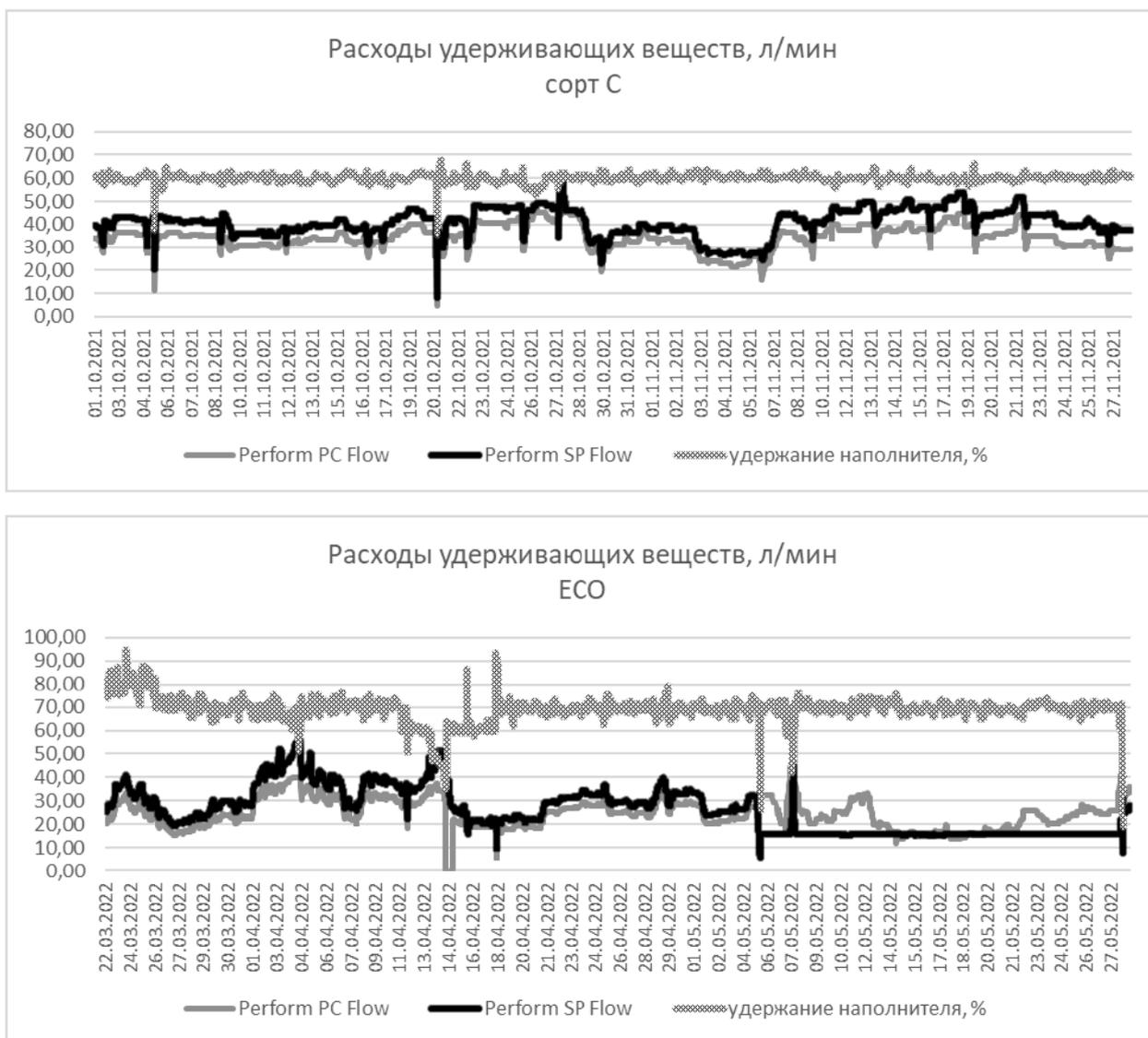


Рисунок 4.6 – Расходы удерживающих веществ при производстве офисной бумаги марки «С» и бумаги «ЭКО»

Для поддержания стабильных значений разрывной длины и сопротивления раздиранию верхняя граница по зольности была установлена на уровне 21%. Для достижения необходимых качественных показателей по толщине и шероховатости дозировка ХТММ поддерживалась на уровне 30% в зависимости

от белизны, при этом максимальная дозировка составляла 33%. В таблице 4.5 приведены результаты исследования морфологических характеристик волокнистых полуфабрикатов для бумаги офисной белой марки С и бумаги ЭКО-80 на БДМ №4.

Таблица 4.5 – Морфологические характеристики бумажной массы

Волокнистые полуфабрикаты	Средневзвешенная длина, мм	Ширина, мкм	Площадь мелочи, к общей площади объектов, %
Беленая хвойная целлюлоза	2,1255	31,3	3,32
Масса из напорного ящика (бумага офисная марки С)	1,193	25,4	18,69
Лиственная целлюлоза	0,989	21,4	5,17
Масса из напорного ящика (бумага офисная ЭКО-80)	1,047	24,3	23,61
БХТММ из осины, влажность 12 %	0,853	-	20,11

4.2.2 Промышленная технология офисной бумаги из частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины), осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя для бумаги (РСС)

Реализация промышленной технологии офисной бумаги ЭКО, сравнительный анализ с производством обычной офисной бумаги сорта «С» (80 г/м²), показывают, что такой переход затрагивает не только изменения технологических параметров БДМ при переходе на производство сорта ЭКО, но фактически принципиально меняет все технологические потоки сложного интегрированного предприятия.

4.2.3 Основные изменения технологии на стадиях «ВАРКА-КЩО-ОТБЕЛКА»

В соответствии с режимными картами, при варке лиственной целлюлозы:

- Снижение целевого значения Каппа на варке с 14-15 до 13-14 ед. Каппа (Рисунок 4.6), за счет увеличения конечной температуры варки до 162–164 °С;
- Снижение целевого значения числа Каппа после КЩО с 9,8-10,2 до 7,5-8,5 ед. Каппа, за счет увеличения дозировки доступных химикатов — кислорода и каустика. Повышение степени делигнификации.

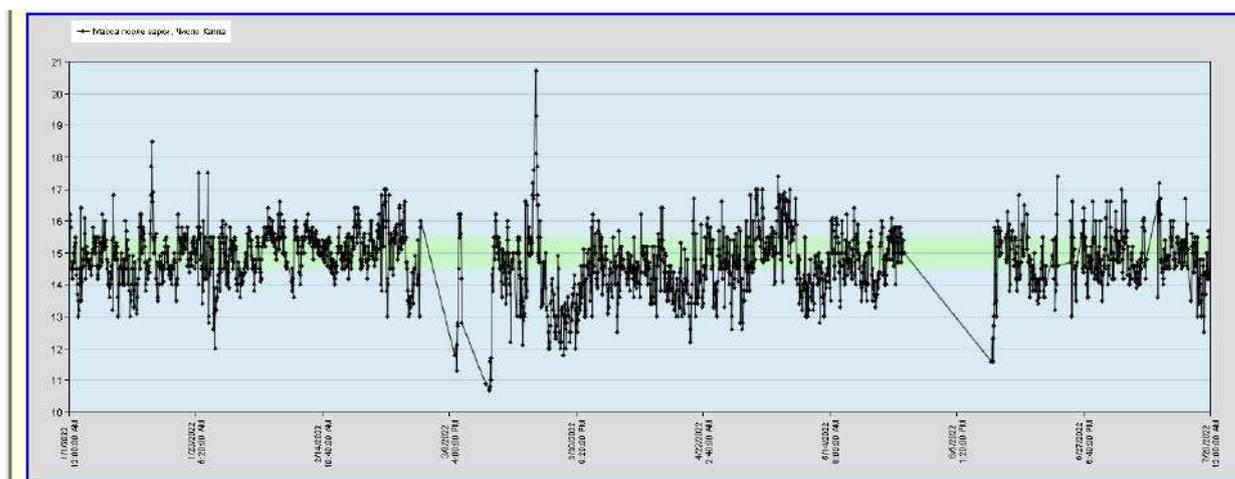


Рисунок 4.7 – Снижение целевого значения числа Каппа при переходе от использования белой лиственной целлюлозы к использованию частично белой лиственной целлюлозы

Таким образом, на лиственном потоке осуществляется переход от отбелки ЕСФ к отбелке ТСФ, а в отбелке в работе 1 ступень ЕОР. Дозировка химикатов H_2O_2 , $NaOH$, O_2 — для обеспечения целевых показателей по белизне 38–40 %.

Из частично белой лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины), осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя для бумаги (РСС):

Хвойная целлюлоза	не используется
Лиственная целлюлоза	70%
РСС	21%
БХТММ А400/80	30%

Сопоставление композиции офисной бумаги марок «ЭКО» и марки «С» приведено в таблице 4.6. Для достижения необходимых качественных показателей по толщине и шероховатости дозировка ХТММ поддерживается на уровне 30 % в зависимости от белизны. Максимальная дозировка 33 %.

Таблица 4.6 – Сопоставление композиции офисной бумаги марок «ЭКО» и марки «С»

	БХТММ	Листва	Хвоя	РСС
ЭКО	30%	70%	0	19-21%
С	30%	40%	30%	23-23,5%

В таблице 4.7 приведён массовый баланс композиции на тонну готовой продукции и данные по степени помола и длине волокна при производстве офисной бумаги марки «С» и марки ЭКО.

Как уже отмечалось выше, для решения проблемы производительности системы подачи массы на БДМ, была произведена модернизация с целью возможности подачи частично белёной лиственной целлюлозы и по хвойному потоку. Это дало возможность перевести часть потока на хвойный сгуститель для заполнения башни хранения и далее дозировки лиственной целлюлозы на БДМ по потоку хвойной целлюлозы. Кроме этого, лиственная целлюлоза используется на подслое дискового фильтра, что важно для сохранения волокна из оборотной воды.

Для поддержания стабильных значений разрывной длины и сопротивления раздиранию верхняя граница по зольности была установлена на уровне 21% (Рисунок 4.7).

Таблица 4.7 – Массовый баланс (на тонну готовой продукции) и данные по степени помола и длине волокна при производстве офисной бумаги марки «С» и марки ЭКО

	Марка «С»						Марка «ЭКО»						
	Кг/т	Белизна	Помол ШР (ВХОД)	Помол ШР (ВЫХОД)	Помол в н/я ШР	Длина волокна, мм	Кг/т	Белизна	Помол ШР (ВХОД)	Помол ШР (ВЫХОД)	Помол в н/я ШР	Длина волокна, мм	
Листва	321	85,8	16-17	20-21	28-32	1	583	39,1	16-17	22-24	26-28	1	
Хво я	218	87	13-15	27-29		2	-	-	-	-		-	-
ХТ ММ	189	78	-	32-34		0,7	208	78	-	32-34		-	0,7
РС С	226	96,2	-	-	-	-	163	92,1	-	-	-	-	



Рисунок 4.7 – Изменение разрывной длины и зольности бумаги в период опытно-промышленной выработки в марте 2022 года

Использование лиственного волокна на подслое дискового фильтра, (а это не самый оптимальный вариант, т.к. длинное хвойное волокно всегда работает в этом случае намного лучше), потребовало снижения концентрации волокна в оборотной воде. Но в результате эксперимента выяснилось, что степень удержания наполнителя на формирующем столе при использовании частично белёной лиственной целлюлозы составила 70 %, в то время как при той же дозировке химикатов для удержания, при работе на белой целлюлозе она составляла 60 %. Таким образом, первоначальная гипотеза о морфологии и прочностных параметрах небеленой лиственной целлюлозы подтвердилась.

Вакуум на гауч-вале при сопоставимых с маркой «С» помолах массы на 10 кПа ниже, в районе 42-48 кПа (53-58 кПа на сорте «С»).

Вакуум на гауч-вале является неким индикатором. По нему мы ориентируемся, насколько бумажная масса подготовлена в РПО, чтобы безопасно перевести полотно на прессовую часть (Рисунок 4.8).

Снижение вакуума ниже минимальной границы может привести к сбросу полотна с сукна пик-ап в момент перевода полотна в прессовую часть.

Ожидаемо снизилось давление пара в основной сушильной части, поскольку лиственное волокно лучше обезвоживается на формирующей и прессовой части БДМ (Таблица 4.8). Очень важно в 1-ю и 2-ю группу максимально снизить давление пара. Это обусловлено тем, что «ЭКО», ввиду отсутствия хвойного волокна, высыхает быстрее и процесс высушивания должен быть плавнее. Досушивающая часть работает на тех же режимах. Натяжение в 1 сушильной группе на марке «ЭКО» ниже, чем на марке «С» (Таблица 4.9).



Рисунок 4.8 – Изменение вакуума на гауч-вале при производстве бумаги марки «С» (вверху) и марки «ЭКО» (внизу)

Таблица 4.8 – Изменение давления пара (кПа) в основной сушильной части при производстве офисной бумаги марки «С» и марки «ЭКО»

	1 гр	2 гр	3 гр
Для марки «ЭКО»	–10	0	160
Для марки С	10	20	180

Таблица 4.9 – Изменение натяжения в 1 сушильной группе сушильной части при производстве офисной бумаги марки «С» и марки ЭКО

Тяга 1 гр %	1,70	Тяга 1 гр %	2,22
Тяга 2 гр %	0,02	Тяга 2 гр %	0,02
Тяга 3 гр %	−0,08	Тяга 3 гр %	−0,08
Тяга 4 гр %	0,06	Тяга 4 гр %	0,06
Тяга С-С Н/м	370	Тяга С-С Н/м	370
Тяга 6 гр %	−0,17	Тяга 6 гр %	−0,17

Внутримассная проклейка. Дозировка АКД (химикат для внутримассной проклейки бумаги на основе парафина) на марке «ЭКО» была снижена для достижения значения Кобб 30-35, т.к. при стандартных значениях Кобб 20-30, как для марки «С», происходит размазывание канцелярской печати (Рисунки 4.9 и 4.10).

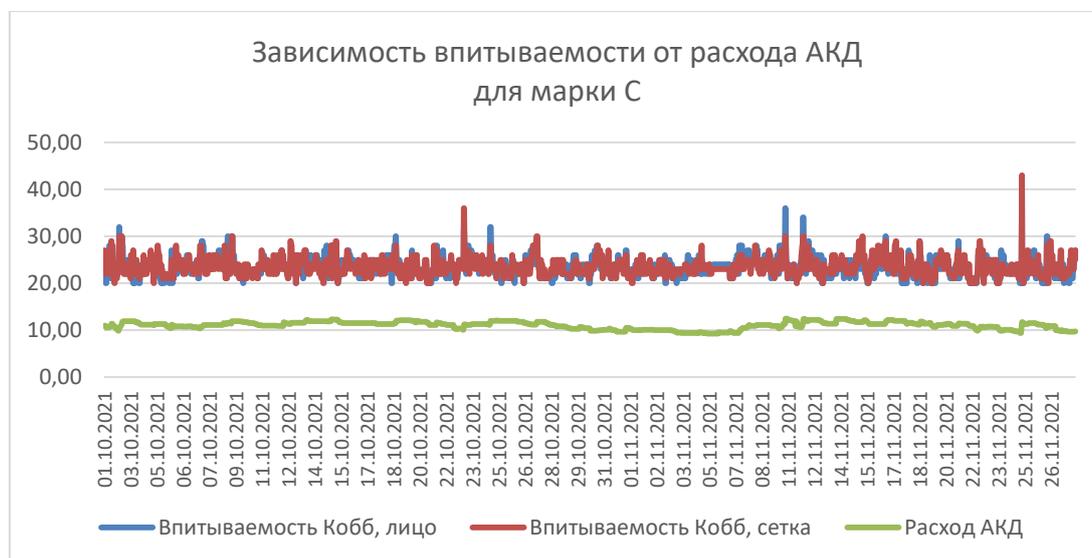


Рисунок 4.9 – Зависимость впитываемости от расхода АКД для марки С

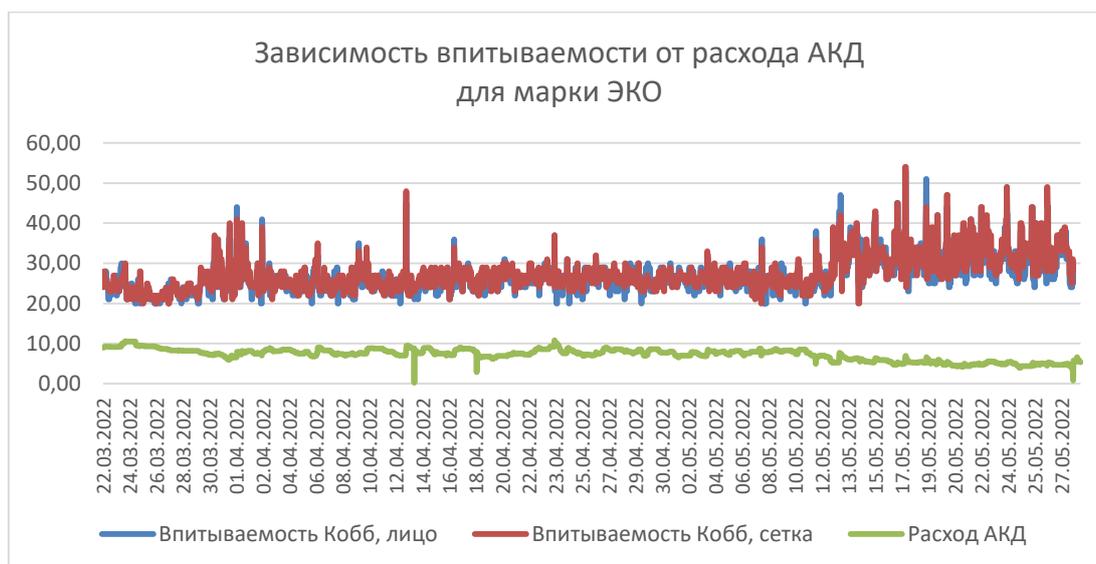


Рисунок 4.10 – Зависимость впитываемости от расхода АКД
для марки ЭКО

На марке «ЭКО дозировка CaCl_2 при поверхностной проклейке увеличена в два раза по сравнению с маркой «С» для улучшения печатных свойств, с 5 л/мин до 10 л/мин на каждую сторону (Рисунки 4.11 и 4.12). Предполагая, что цветопередача более белой бумаги, при определенных видах цветной печати, может быть несколько лучше.

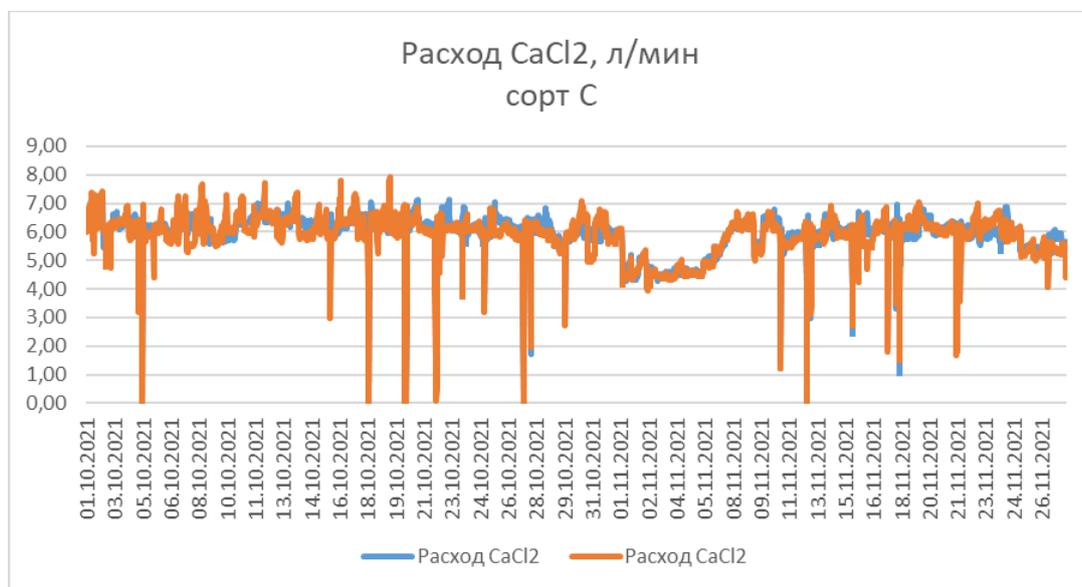


Рисунок 4.11 – Дозировка CaCl_2 при поверхностной проклейке бумаги
марки С

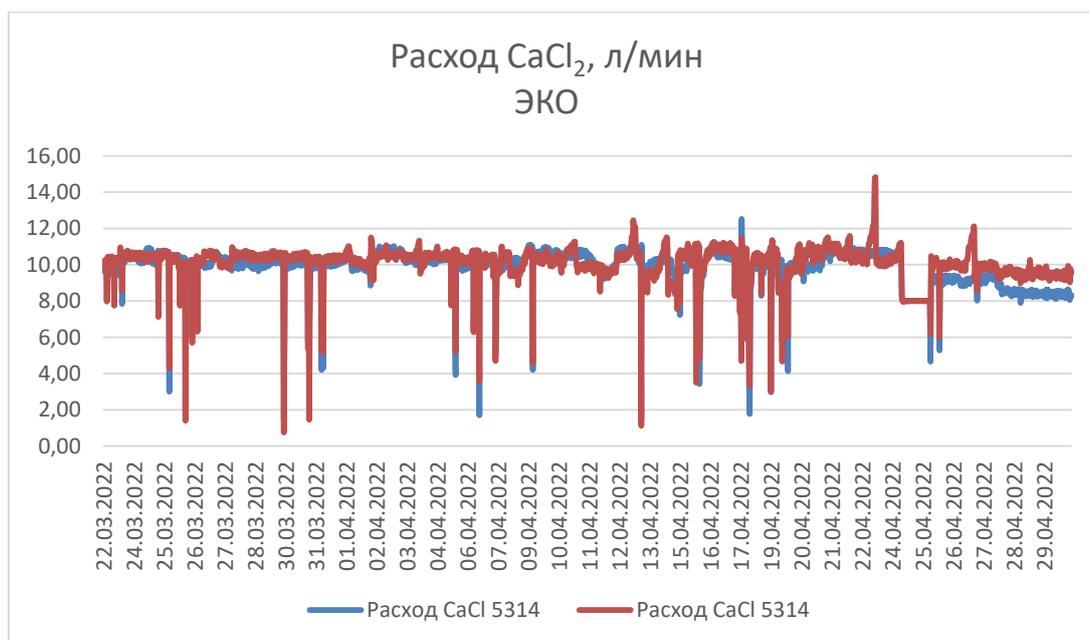


Рисунок 4.12 – Дозировка CaCl_2 при поверхностной проклейке бумаги марки ЭКО

В таблице 4.10 приведены результаты тестов по плотности печати для марки С и марки ЭКО, а в таблице 4.11 — по тесту образцов на размазывание канцелярской печати.

Таблица 4.10 – Тест плотности печати (Colourlock) на марке «С» и марке «ЭКО»

Тамбур	Марка	BLACK OD (>1,2)					
		M1 (SS)	M2 (SS)	M3 (SS)	M1 (FS)	M2 (FS)	M3 (FS)
59L0725	С	1,07	1,08	1,11	1,1	1,08	1,09
50C1040	С	1,14	1,13	1,15	1,14	1,15	1,18
50C1945	С	1,12	1,14	1,13	1,18	1,18	1,21
50C2043	С	1,14	1,15	1,17	1,17	1,19	1,22
50C2210	С	1,13	1,13	1,16	1,14	1,15	1,16
50C2528	С	1,08	1,09	1,1	1,09	1,09	1,1
50C2529	С	1,09	1,11	1,12	1,1	1,12	1,13
50C2530	С	1,07	1,11	1,11	1,08	1,09	1,09
50C2531	С	1,05	1,07	1,09	1,1	1,1	1,13
52D2719	ЭКО	1,27	1,21	1,24	1,27	1,32	1,36
52D2723	ЭКО	1,19	1,27	1,25	1,33	1,36	1,3
52D2814	ЭКО	1,2	1,25	1,23	1,21	1,24	1,25

52D2817	ЭКО	1,29	1,23	1,26	1,28	1,33	1,27
52D2820	ЭКО	1,21	1,21	1,23	1,3	1,32	1,31
52D2826	ЭКО	1,23	1,34	1,23	1,26	1,36	1,36
52D2914	ЭКО	1,21	1,22	1,33	1,28	1,34	1,33
52D2918	ЭКО	1,3	1,33	1,34	1,34	1,34	1,34
52E1231	ЭКО	1,25	1,25	1,29	1,36	1,35	1,3
52E1310	ЭКО	1,2	1,2	1,27	1,39	1,36	1,34

Таблица 4.11 – Тест образцов бумаги ЭКО на размазывание канцелярской печати

Timestamp	Grade/Сорт	TAPPI Nr	Кобб, лицо	Кобб, сетка	Размазыва ние печати
26.03.2022 14:33:53	Office 80 gsm ECO	52C2616	20,00	20,00	да
06.04.2022 00:49:23	Office 80 gsm ECO	52D0601	20,00	23,00	да
19.03.2022 01:03:24	Office 80 gsm ECO	52C1901	21,00	22,00	да
13.04.2022 20:45:23	Office 80 gsm ECO	52D1329	21,00	24,00	нет
26.03.2022 14:33:53	Office 80 gsm ECO	52C2517	22,00	23,00	да
25.03.2022 14:05:53	Office 80 gsm ECO	52D1332	23,00	26,00	да/не сильно
17.03.2022 16:44:53	Office 80 gsm ECO	52C1721	24,00	28,00	да/не сильно
19.03.2022 11:46:54	Office 80 gsm ECO	52C1915	24,00	26,00	да
04.04.2022 11:36:24	Office 80 gsm ECO	52D0417	24,00	26,00	да
11.04.2022 15:49:23	Office 80 gsm ECO	52D1126	24,00	24,00	нет
14.04.2022 12:30:54	Office 80 gsm ECO	52D1420	24,00	27,00	нет
20.03.2022 00:07:24	Office 80 gsm ECO	52C1931	25,00	29,00	да/не сильно
03.04.2022 23:16:54	Office 80 gsm ECO	52D0335	25,00	24,00	да/не сильно

11.04.2022 04:17:54	Office 80 gsm ECO	52D1107	25,00	26,00	нет
14.04.2022 07:02:54	Office 80 gsm ECO	52D1411	25,00	26,00	да/не сильно
24.03.2022 13:43:54	Office 80 gsm ECO	52C2405	26,00	27,00	да
14.04.2022 13:43:54	Office 80 gsm ECO	52D1422	26,00	28,00	нет
23.03.2022 17:09:24	Office 80 gsm ECO	52C2320	27,00	24,00	да/не сильно
17.03.2022 15:10:53	Office 80 gsm ECO	52C1719	28,00	27,00	нет
06.04.2022 04:33:23	Office 80 gsm ECO	52D0607	29,00	27,00	нет
30.03.2022 09:16:23	Office 80 gsm ECO	52C3011	30,00	29,00	нет
10.04.2022 08:21:53	Office 80 gsm ECO	52D1013	32,00	31,00	нет
30.03.2022 10:51:53	Office 80 gsm ECO	52C3013	34,00	37,00	нет
30.03.2022 14:34:53	Office 80 gsm ECO	52C3019	36,00	36,00	нет
31.03.2022 12:57:23	Office 80 gsm ECO	52C3114	39,00	40,00	нет
01.04.2022 00:47:54	Office 80 gsm ECO	52C3128	44,00	41,00	нет

4.2.4 Статистический анализ качества бумаги ЭКО из частично блененой целлюлозы (объём выработки 50 000 т)

Кроме лабораторного анализа бумаги ЭКО был проведен статистический анализ большой выборки лабораторных данных при опытно-промышленной выработке 50 тыс. тонн произведенной продукции.

Белизна. На рисунке 4.13 приведены данные по статистическому анализу белизны бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке. Целевая белизна на накате БДМ >60. Подобранный композиция позволяла достигать белизны 65 %.

При выработке не использовался оптический отбеливатель для точной корректировки белизны; вариации белизны, не заметные глазу, тем выше, чем ниже белизна. Белизна ЛЦ 60 % в композиции – 40 %. Белизна БХТММ 40 % – 82-85 %. Белизна наполнителя 22 % – 90-92 %.

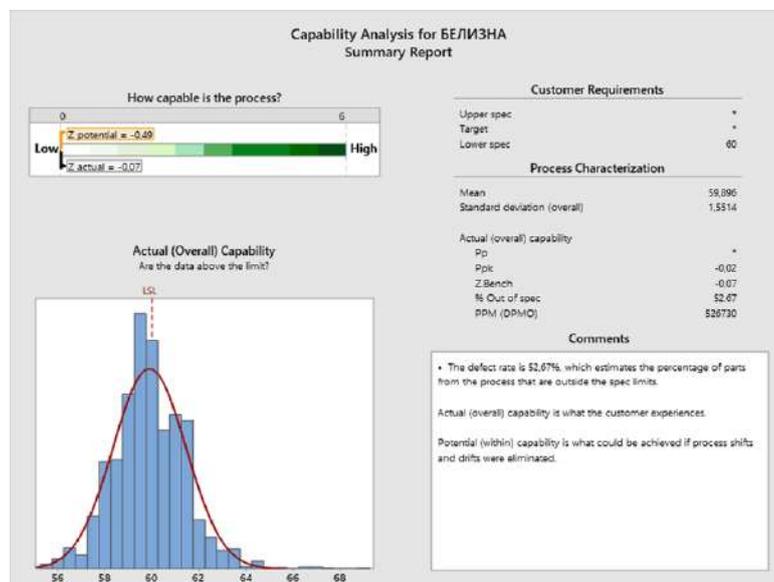


Рисунок 4.13 – Статистический анализ белизны бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке

Толщина. На рисунке 4.14 приведены данные по статистическому анализу толщины бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке. Изменение в композиции бумаги без хвойной целлюлозы и увеличение БХТММ дало хороший прирост толщины — до 106,27 мкм при тех же нагрузках на прессах и каландре. Среднее значение толщины для белой бумаги марки С – 104 мкм. Хорошая пухлость позволяет получить снижение базового веса и увеличения гладкости.

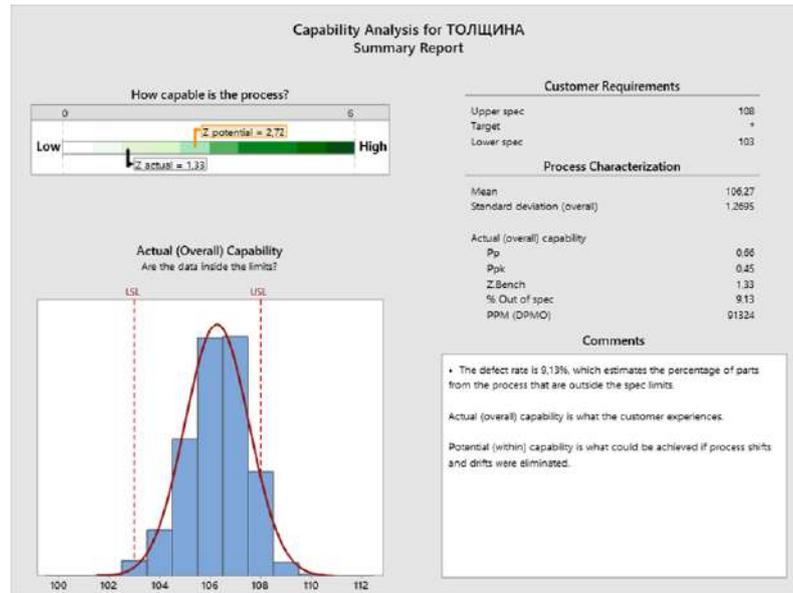


Рисунок 4.14 – Статистический анализ толщины бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке

Непрозрачность. На рисунке 4.15 приведены данные по статистическому анализу непрозрачности бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке. Бумага ЭКО показала на 3–4 % увеличение непрозрачности листа до 97,5 % за счет более пухлой и, в тоже время, плотной структуры листа.

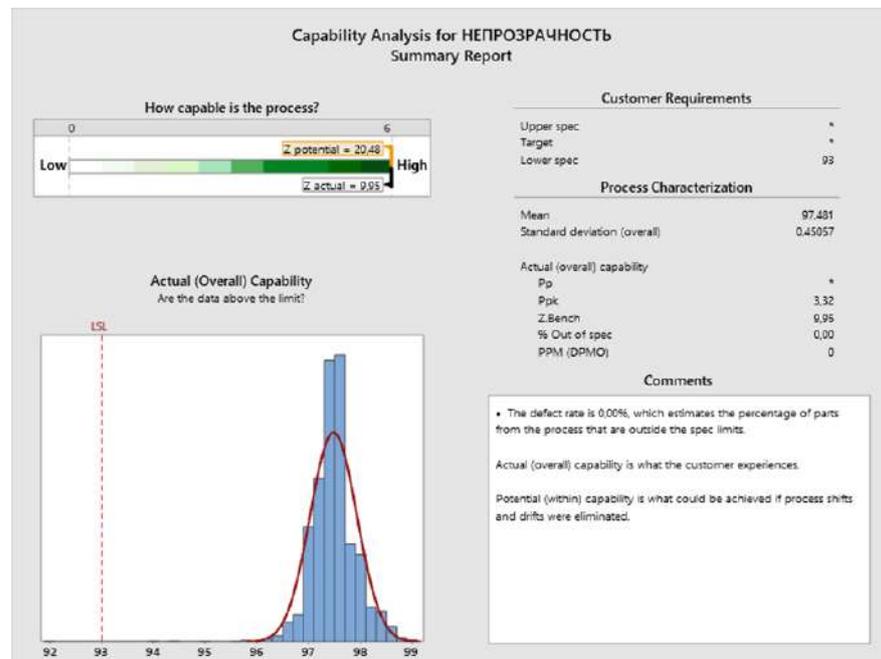


Рисунок 4.15 – Статистический анализ непрозрачности бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке

Базовый вес квадратного метра. На рисунке 4.16 приведены данные по статистическому анализу базового веса квадратного метра бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке. Базовый вес бумаги ЭКО ниже стандартной за счет большей пухлости – 79,014 против 79,5 г/м². Частично белёная целлюлоза, не подвергнутая отбелке диоксидом хлора, показала хорошее формование и удержание. Снизилось удельное потребление удерживающих химикатов на мокрой части и проклейке.

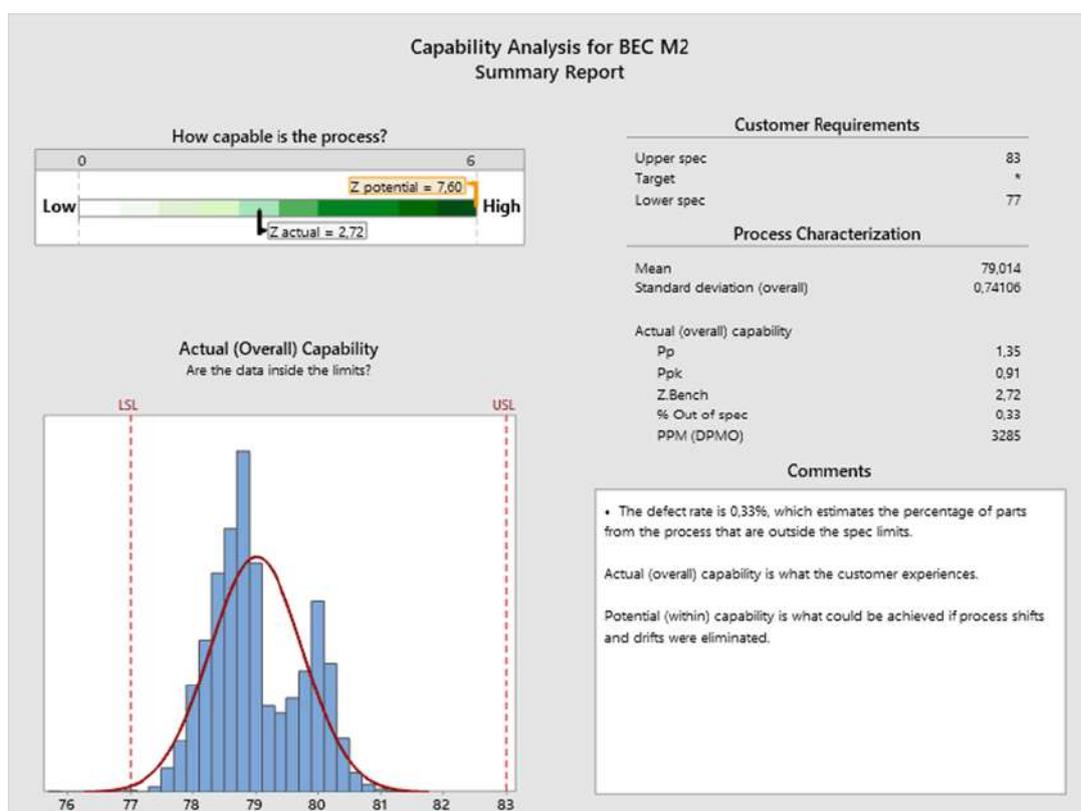


Рисунок 4.16 – Статистический анализ базового веса квадратного метра бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке

Шероховатость. На рисунке 4.17 приведены данные по статистическому анализу шероховатости бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке с сеточной и лицевой стороны листа. За счет пухлости удалось достичь улучшения шероховатости и разносторонности, увеличив нагрузку на машинном каландре.

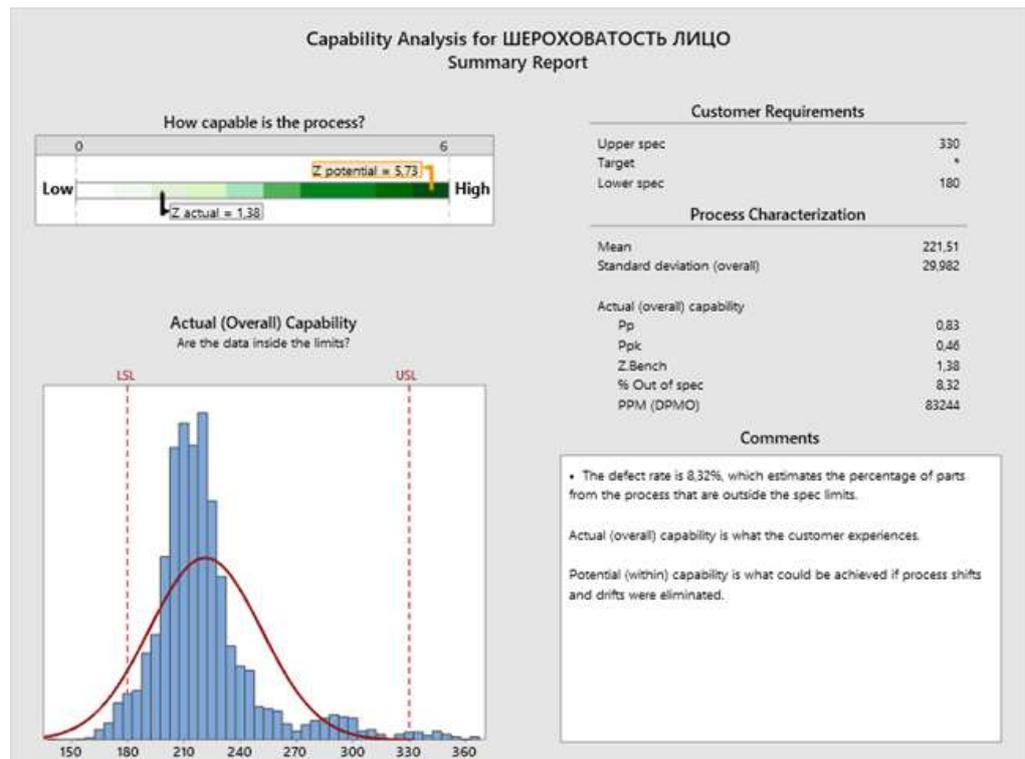
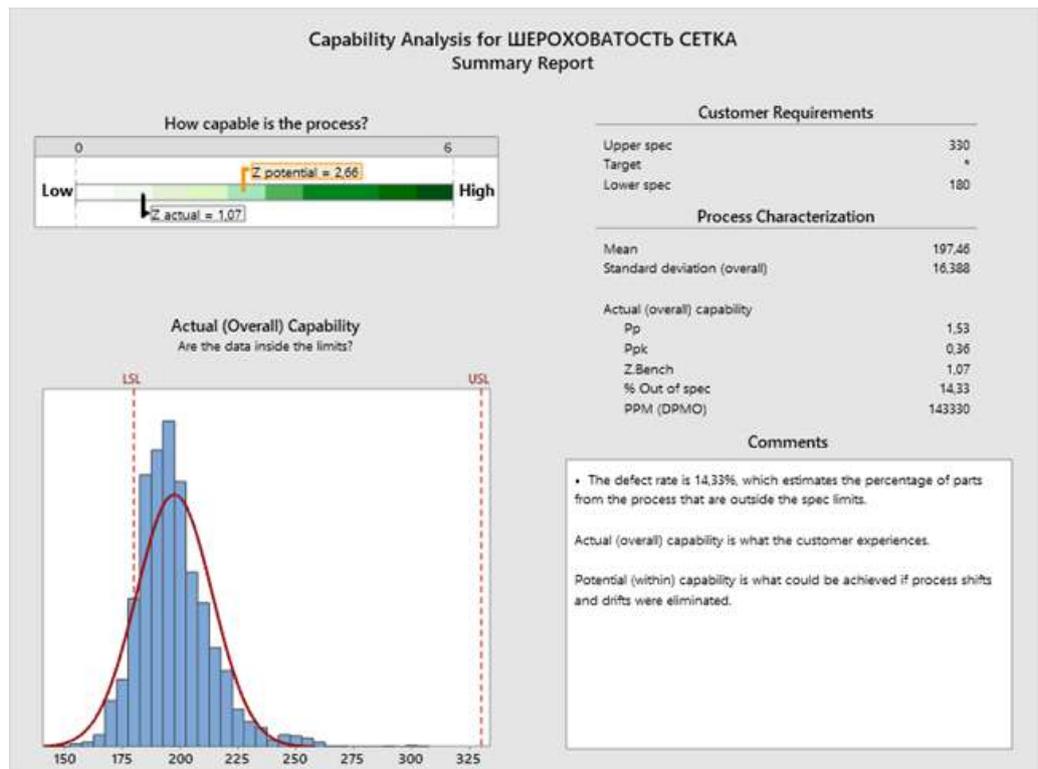


Рисунок 4.17 – Статистический анализ шероховатости бумаги ЭЖО при опытно-промышленной выработке с сеточной (вверху) и лицевой (внизу) стороны листа

Поверхностная проклейка. На рисунке 4.18 приведены данные по статистическому анализу впитываемости по Коббу бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке с сеточной и лицевой стороны листа. Уровень поверхностной проклейки (количество крахмала, наносимого на поверхность бумаги) остался на прежнем уровне. Пылимость с поверхности не изменилась, но вероятно увеличение пыли при резке, так как бумага содержит больше короткого волокна, что потребует увеличения внутренней проклейки.

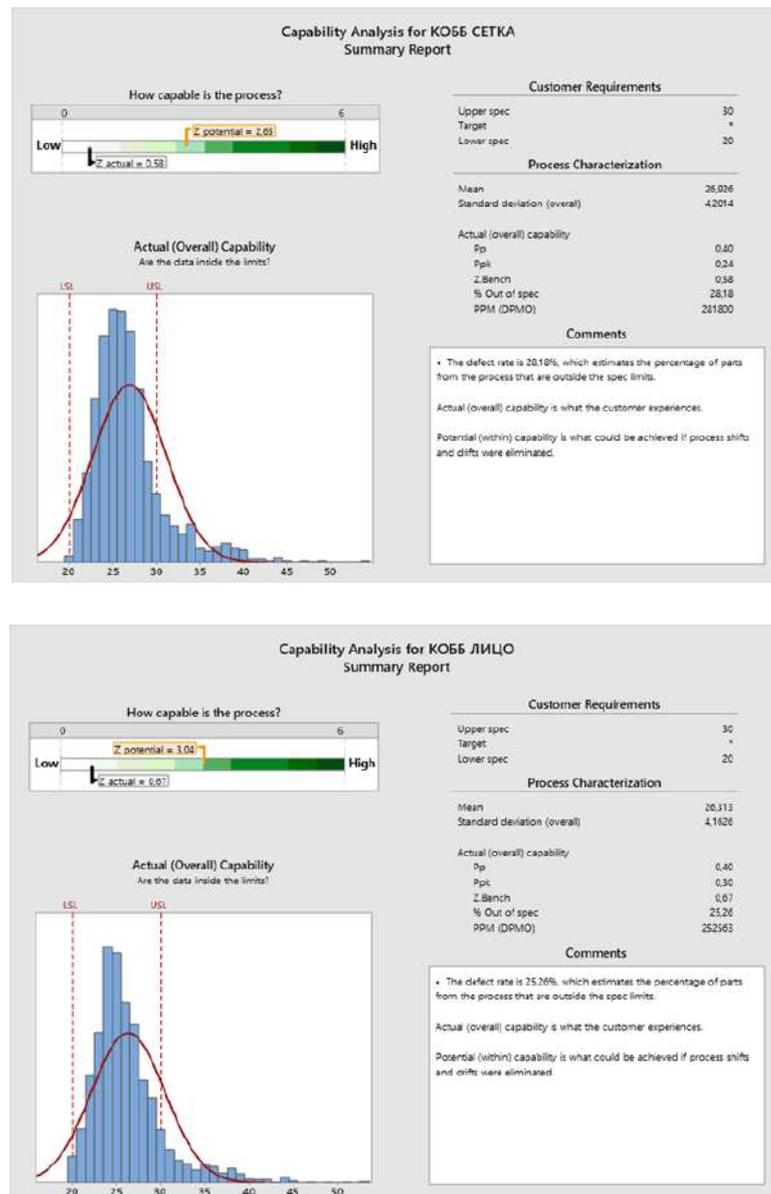


Рисунок 4.18 – Статистический анализ впитываемости по Коббу бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке с сеточной (вверху) и лицевой (внизу) стороны листа

Жёсткость. На рисунке 4.19 приведены данные по статистическому анализу жёсткости бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке. Жёсткость в машинном и поперечном направлении увеличилась и в сумме значительно выше минимально допустимой 150–175.

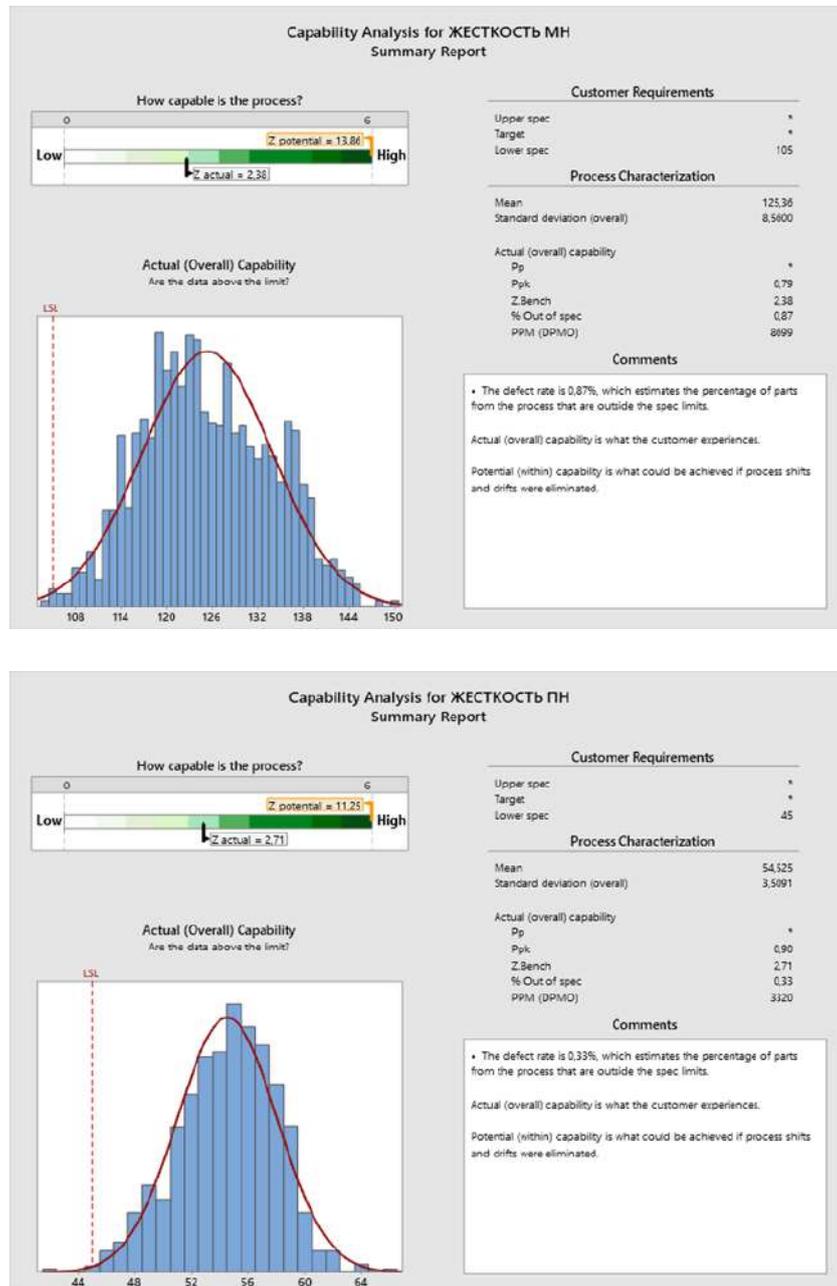


Рисунок 4.19 – Статистический анализ жёсткости бумаги ЭКО при опытно-промышленной выработке в машинном (вверху) и в поперечном (внизу) направлениях

На фото ниже представлены фотографии и текст, напечатанные на бумаге ЭКО на обычном принтере, которые смотрятся превосходно. И при этом были получены отличные результаты по работоспособности принтера при использовании нового вида бумаги. Ниже приведена таблица основных характеристик бумаг, которые были измерены в лаборатории на высокоточном оборудовании, и они полностью подтверждают, что эта бумага подходит для любых принтеров и копировальных аппаратов и обладает всеми необходимыми характеристиками для печати высокого качества. Хороший показатель непрозрачности обеспечивает отличную читаемость текста при двусторонней печати. Необходимая жесткость позволяет избежать замятия бумаги в принтере, а оптимальная влажность предупреждает скручивание листа.

Визуальное сравнение классической и эко офисной бумаги



Рисунок 4.20 – Визуальное сравнение классической офисной бумаги и бумаги ЭКО

Новая технология производства офисной бумаги без использования белёной хвойной целлюлозы и с применением только лиственной частично белёной показала отличные результаты по параметрам готового продукта, а также хорошую управляемость процессом производства.

Результаты превзошли все ожидания.

Оттенок бумаги получил рабочее название цвета «слоновой кости», из-за этого оттенка в современных офисах документы, распечатанные на такой бумаге, смотрятся очень гармонично. Благодаря более экологичному и безопасному процессу отбеливания, удалось достигнуть уровня белизны 60-65 % (ISO), что достаточно для выполнения функции носителя информации. По новой технологии в марте – апреле – мае для выпущено более 50 тыс. тонн продукции на примерно 3000 млн. рублей. На сегодняшний день многие крупные потребители офисной бумаги заключили контакты на поставку эко бумаги, что говорит о возникновении потребительской ниши для нового вида продукции. Получено большое количество позитивных отзывов от конечных потребителей, людей, которые используют офисную бумагу каждый день для образования, творчества, развития бизнеса и торговли. Производятся поставки эко бумаги и на экспорт, где покупатель так же оценил потребительские свойства бумаги и ее более низкую цену.

Кремовый оттенок бумаги C₃ перекликается с бумагой, на которой традиционно печатается газета Financial Times (Файнэншл Таймс) и с производимой фирмой «Монди» бумагой для офисной струйной и лазерной техники Маэстро-Колор, однако углеродный след офисной бумаги C₃ значительно ниже.

Следует отметить, что цвет офисной бумаги ЭКО очень близок цвету газеты Financial Times, которая печатается на рыжеватой бумаге. В 1893 году, когда вышел первый экземпляр этой газеты на такой бумаге, этот цвет носил название «розовый лосось». Издание газеты на бумаге такого цвета было своеобразным маркетинговым ходом. Первый номер газеты вышел ещё в январе 1888 года, и чтобы её не путали с другими изданиями, было решено печатать её на бумаге такого цвета.

Financial Times — это международная деловая газета, которая выходит как в печатном, так и в электронном варианте. Её головной офис находится в Лондоне,

хотя с ноября 2015 года 100 % акций газеты принадлежат японской корпорации Nikkei.



Рисунок 4.21 – Газета «Financial Times», печатающаяся на рыжевато-розовой бумаге («розовый лосось»)

В Российском целлюлозно-бумажном мире хорошо известно издание ЦБК экспресс, издававшееся А. Е. Шварцем на аналогичной бежевой бумаге (Рисунок 4.22).

рекомендации этой марки бумаги для Государственных закупок. По новой технологии выпущено (по состоянию на 1.07.2022) продукции на 3,5 млрд. рублей.

3. Показано, что по своим эксплуатационным свойствам бумага ЭКО полностью отвечает требованиям к бумаге офисной марки «С». Показано, что по своим упруго-релаксационным свойствам новый вид офисной бумаги – бумага ЭКО – полностью соответствует требованиям ко всем видам офисных бумаг. Это обеспечивает возможность ее применения на всех видах принтеров, включая высокоскоростные.

4.3 Промышленная технология офисной бумаги из частично белёной хвойной целлюлозы, частично белёной лиственной целлюлозы (из смеси березовой и осиновой древесины), осиновой БХТММ и высокодисперсного минерального наполнителя (РСС)

Как показывают прогнозы ФАО ООН, лесной сектор России и мира, также как и большинство секторов традиционной индустрии, вышли на «технологическое плато». Прогноз развития потребляющих отраслей, т.е. прогноз развития рынков, позволяет предполагать, что дальнейшее промышленное развитие связано с запуском следующего инновационно-технологического цикла, появлением прорывных технологий, приводящих к «технологическому взрыву».

Около полувека назад таким технологическим взрывом было появление новых систем удержания и переход от пассивного наполнителя в бумаге и картоне к активному наполнителю, способному к образованию в бумажном полотне структуры взаимопроникающих сеток – волоконно-фибрилярной и сетки минерального наполнителя, прежде всего РСС (МХО). Именно этот принцип и позволил производить офисную бумагу с содержанием наполнителя 20% и выше.

Как указывалось выше, бумагоделательная машина БДМ №4, выпускавшая в Светогорске офисную бумагу, получала волокнистые полуфабрикаты с трех технологических потоков (хвойной беленой целлюлозы, лиственной беленой

целлюлозы и беленой химико-термомеханическая массы - БХТММ из осиновой древесины), а также минеральный наполнитель – осажденный карбонат кальция. В условиях сжатых сроков решения проблемы технологического суверенитета не только Светогорского ЦБК, но практически всех информационно-коммуникационных технологий в РФ, Светогорский ЦБК пошел в 2022 г. на полный отказ от использования хвойной целлюлозы. Применительно к офисной бумаге производство офисной бумаги из частично белёной целлюлозы может рассматриваться как очередной «технологический взрыв», позволяющий, благодаря переходу к необходимому и достаточному уровню белизны, существенно снизить себестоимость продукции и карбоновый след материала.

Как уже отмечалось выше, основная проблема получения бумаги без использования хвойного волокна заключается в снижении прочностных свойств бумаги, что могло негативно повлиять на работу БДМ. Необходимо отметить, что положительного опыта использования только лиственной целлюлозы для производства офисной бумаги ранее не было, при этом бумажное полотно имело крайне низкую прочность, увеличивалось количество обрывов, возникали трудности с заправкой БДМ. В процессе опытно-промышленного производства сорта ЭКО, была подтверждена гипотеза, в соответствие с которой частично белёное лиственное волокно, не подвергавшееся делигнификации в отбелке, но прошедшее более глубокую делигнификацию при варке с Каппа 15 до 10-12, имеет лучшие прочностные показатели. Однако, как отмечалось выше, технологические решения, принятые при переходе на производство бумаги ЭКО, позволили в короткий срок решить проблемы рыночной паники и бесперебойной работы БДМ4 как основного производителя офисной бумаги, правда при пониженной её производительности - на скорости 900 м/мин (производительность 900 т/сутки). При этом, однако, на ЦБК также снизилось производство хвойной целлюлозы за счет отказа от хвойной белимой целлюлозы. Поэтому была синтезирована новая, более сложная технологическая схема для производства бумаги ЭКО2 – с применением хвойной целлюлозы, прошедшей отбелку на

потоке БХТММ с использованием для отбели перекиси водорода, с последующей аэрофонтанной сушкой. Такая схема была реализована в 2023 году, в котором было выпущено около 50 тысяч офисной бумаги ЭКО2.

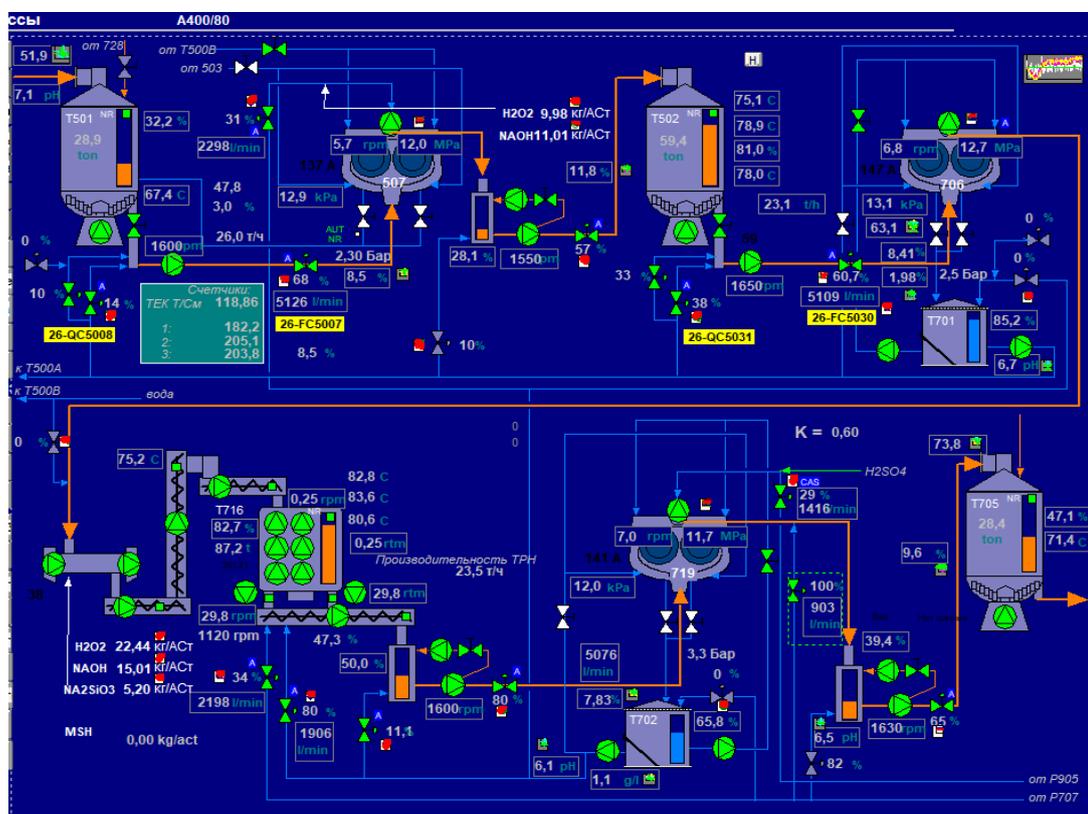


Рисунок 4.23 – Производство частично белёной хвойной целлюлозы марки SB/50C на потоке БХТММ

Белизна небелёной хвойной целлюлозы, поступающей на отбелку (по сырой массе): 22–23 %.

Белизна готовой продукции, частично белёной хвойной целлюлозы (по ISO): – 50 ±2 %.

Таблица 4.12 – Расходы химикатов при отбелке хвойной целлюлозы и ХТММ

Реагенты	При отбелке целлюлозы	При отбелке ХТММ, кг/а.с.т.
Перекись водорода	31,4	30,5
Едкий натр	11,08	33,0
Трилон Б	1,46	0,7
Силикат натрия		5,0
Сульфит натрия		7,5

Рассчитаем прирост белизны на 1 кг/т перекиси водорода при отбелке осиновой ХТММ (см. Рисунок 3.19) и хвойной целлюлозы.

Для осиновой ХТММ:

30,5: (78–50=22) составляет 1,09 % на 1 кг/т

Для хвойной целлюлозы:

31,4: (50–22=28) составляет 1,12 % на 1 кг/т.

Таким образом, перекись водорода оказалась одинаково эффективной при отбелке ХТММ и при частичной отбелке хвойной целлюлозы.

Параметры процесса производства сорта ЭКО2 (с 24.10.2023 по 26.10.2023)

Скорость 1 225 м/мин; Производительность 49,5 т/час; Граммаж 78,5 г.

Композиция:

Дозировка хвойной частично белёной целлюлозы – 24 % (3300–4500 л/мин, в среднем 3 900 л/мин).

Дозировка лиственной частично белёной целлюлозы – 24-34 %

Дозировка ХТММ – 20-30 % (в среднем 25 %).

Зольность – 22 %.

Нагрузки на рафинёрах:

Хвоя - 2 в работе с нагрузкой 65/65 kWth/t

Листва - 2 в работе с нагрузкой 17/23 kWth/t

Домол - 2 в работе с нагрузкой 5,0/5,0 kWth/t

Помолы:

Хвоя – 23 °ШР

Листва – 21 °ШР

Машинный бассейн – 26 °ШР

Напорный ящик – 30 °ШР

Расходы химикатов (кг/т):

АКД – 10,8 кг/т

Массный крахмал – 4,3 кг/т

Крахмал поверхностный - 20,5 кг/т

CaCl₂ – 13 кг/т

Удерживающие – 0,8 кг/т

Силиказоль – 6,7 кг/т

Отбеливатель – 0

Краситель – 0

Качественные показатели:

Толщина – 109 мкм

Шероховатость, лицо – 243 мл/мин

Шероховатость, сетка – 223 мл/мин

Сопротивление раздиранию – 488 н/м

Разрывная длина – 5 515 м

Воздухопроницаемость – 831 мл

Жесткость МН – 126

Жесткость ПН – 56

Непрозрачность – 97,4 %

Белизна – 62,3 %

Коэффициент скольжения – 0,43 (должен быть не менее 0,4)

В таблице 4.13 приведён сравнительный анализ процесса отбелки хвойной целлюлозы и ХТММ.

Таблица 4.13 – Сравнительный анализ отбелки хвойной целлюлозы и ХТММ

Вид продукции	Полубеленая хвойная целлюлоза – SB/50С		Беленая хвойная целлюлоза – 85%		ХТММ – S400/70С (с ноября 2023 - S400/63С)		ХТММ – S400/50	
Назначение	для производства экопродукции для БДМ-4		хвойная беленая целлюлоза для БДМ-1 и БДМ-4		еловая ХТММ для БДМ-1		еловая ХТММ для внешних клиентов	
Процесс отбелки	ХТММ отбельный цех		САЦ-1 отбельный цех		ХТММ отбельный цех		ХТММ отбельный цех	
Частота производства	1 раз в 2 месяца 2-3 суток		ежедневно		2-3 суток в месяц		2-3 суток в месяц	
Технологические параметры	Число Каппа небеленой целлюлозы	15-18 ед. Каппа	Число Каппа небеленой целлюлозы	15-18 ед. Каппа				
Расходы химикатов	NaOH	11,1 кг/т	NaOH	18,5 кг/т	NaOH	11,9 кг/т	NaOH	2,0 кг/т
	H ₂ O ₂	31,6 кг/т	H ₂ O ₂	15,39 кг/т	H ₂ O ₂	22,8 кг/т	H ₂ O ₂	Не используется
	Na ₂ SiO ₃	7,3 кг/т	O ₂	13,8 кг/т	Na ₂ SO ₃	13,8 кг/т	Na ₂ SO ₃	13,66 кг/т
	Трилон	1,9 кг/т	ClO ₂	13,2 кг/т	Na ₂ SiO ₃	3,7 кг/т	Na ₂ SiO ₃	Не используется
			фермент	0,073 кг/т	Трилон	1,13 кг/т	Трилон	Не используется
					Ингибитор отложений	0,196 кг/т	Ингибитор отложений	0,2 кг/т

Продолжение табл. 4.13

Качественные показатели	Белизна, %	234	Белизна, %	74	Степень помола, мл	397	Степень помола, мл	403
	Сорность		Сорность, шт/м ² , не более		Яркость по ISO, %	63,7	Яркость по ISO, %	54,2
	pH	9,9	pH	6,5-7,5	Индекс прочности при растяжении	28,2	Индекс прочности при растяжении	27,5
	Удельная электропроводность, мкСм/см	69	Удельная электропроводность, мкСм/см, не более	150/250	Индекс сопротивления раздиранию, мН·м ²	6,89	Индекс сопротивления раздиранию	6,58
	Влажность по ISO, %	12,6	Концентрация, %	1,8-2,8/3,5-4,5	Удельный объем, см ³ /г	2,85	Удельный объем, см ³ /г	2,94
			Вязкость, мПа·с	43	Содержание костры, %	0,172	Содержание костры, %	0,205
	Удельный объем, см ³ /г	2,63	Удельный объем, см ³ /г	1,93				
	Разрывная длина, м	9958	Разрывная длина, м	9960				
	Сопротивление раздиранию, мН	961	Сопротивление раздиранию, мН	886				
	Степень помола, °ШР	55	Степень помола, °ШР	54				

Экологические аспекты	ХПК на очистные сооружения	Стоки 72 отдел - ХПК 7,6 т/сут	ХПК (автоматические пробоотборники)	Кислые стоки ХПК 2-4 т/сут	ХПК на очистные сооружения	Стоки 72 отдел - ХПК 32,7 т/сут	ХПК на очистные сооружения	Стоки 72 отдел - ХПК 31,1 т/сут
				Щелочные стоки (ХПК менее 1 т/сут)				
Себестоимость (переменные затраты) руб./т		27958		31626		22803		18188

Основные комментарии. Механические и прочностные свойства целлюлозы выше, чем у ХТММ.

Себестоимость ХТММ ниже, чем у целлюлозы. Основное влияние — это затраты на древесину. Выход целлюлозы из щепы 48–50 %, выход ХТММ из щепы – 88–90 %.

Влияние на экологию. Стоки ХТММ оказывают более негативное влияние, чем стоки отбельного цеха.

В рамках данной работы пришлось дорабатывать не только ГОСТ на конкретный вид продукции – бумагу офисную, с созданием ее новой марки – «марка С₃», с белизной 60 %, но и вносить дополнение в ГОСТ Р 53636-2009 «Целлюлоза, бумага и картон. Термины и определения». Дело в том, что в этом ГОСТе записано следующее:

«3.1.49 небеленая целлюлоза: Целлюлоза, которая не подвергалась отбелке с целью увеличения ее естественной белизны. Показатель белизны — не более 65 % (ГОСТ 30437)».

В тоже время в другом пункте этого ГОСТа читаем:

«3.1.50 полубеленая целлюлоза: Целлюлоза, отбеленная до средней степени белизны. Показатель белизны — в пределах от 66 % до 71 % (ГОСТ 30437)».

Таким образом, по цифрам бумага ЭКО — это небеленая целлюлоза, но данное положение вступает в противоречие с первой частью определения «не подвергалась отбелке с целью увеличения ее естественной белизны». Это противоречие можно разрешить двумя путями – либо надо давать формулировку «целлюлоза, прошедшая кислородно-щелочную обработку» или «частично беленая листовая целлюлоза». Второй вариант представляется более предпочтительным, но требует дополнения в ГОСТ Р 53636-2009 «Целлюлоза, бумага и картон. Термины и определения».

В **Приложении** к диссертации приведена ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к первой редакции проекта Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017. «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия» [127] и Письмо Департамента Легкой промышленности и Лесного комплекса Минпромторга РФ от 25.03.2024 года.

4.4 Предварительный анализ изменения карбонового следа предприятия в условиях перехода на производство офисной бумаги из частично белёной целлюлозы

Помимо стабильных качественных характеристик были получены и значительные улучшения **экологических аспектов** при производстве офисной и офсетной бумаги на БДМ-4. Переход к производству нового вида офисной бумаги – бумаги ЭКО означает переход к производству продукции TCF – т.е. продукции без использования хлора и его соединений. В результате резко сократилась нагрузка на общезаводские очистные сооружения, уменьшилось экологическое воздействие предприятия на окружающую среду – ХПК стоков после очистки снизилось в среднем на 30 %.

Технология производства бумаги из частично беленой целлюлозы позволяет добиться снижения воздействия на окружающую среду, включая сокращение углеродного следа и выбросов в атмосферу. По предварительной оценке, выбросы парниковых газов снижаются на 35%. Применение 100% лиственной целлюлозы и БХТММ обеспечивает более бережное и рациональное использование лесных ресурсов и, одновременно, улучшает качество сточных вод и их очистку.

4.4.1 Пути снижения углеродного следа

Переход к производству нового вида офисной бумаги – бумаги ЭКО означает переход к производству продукции TCF – т.е. продукции без использования хлора и его соединений. В результате такого перехода резко сократилась нагрузка на общезаводские очистные сооружения, уменьшилось экологическое воздействие предприятия на окружающую среду: средняя концентрация ХПК на выпуске 4 в 2022г по сравнению с 2019г. снизилась со 161 мг/л до 86 мг/л при установленной нормативами допустимого сброса концентрации 30 мг/л и допустимой концентрации в пределах лимита на сброс 168 мг/л.

Технология производства бумаги из частично блененной целлюлозы позволяет добиться снижения воздействия на окружающую среду, включая сокращение углеродного следа и выбросов в атмосферу. По предварительной оценке, выбросы парниковых газов снижаются на 35%. Применение 100% лиственной целлюлозы и БХТММ обеспечивает более бережное и рациональное использование лесных ресурсов и, одновременно, улучшает качество сточных вод и их очистку.

Для приближенного расчета сокращения углеродного следа можно наметить основные направления расчета:

1. Сокращение возраста рубки, который составляет для осины – от 40 лет; для березы – от 60 лет, для сосны – от 80 лет. Собственно, скорость роста этих пород также резко различается. Как видно из данных, приведенных в таблице 4.14, скорость роста осины в 1,5-2,0 раза выше, чем у ели или сосны.

Таблица 4.14 – Скорость прироста и увеличения запаса у лиственных и хвойных пород (данные Рослесинфорга)

Порода деревьев	Фиксация CO ₂ , тонн в год/га
Осина (<i>Populus tremula</i>)	3,6
Береза (<i>Betula spp</i>)	3,3
Дуб (<i>Quercus robur</i>)	3,2
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i>)	2,4
Ель (<i>Picea</i>) и пихта (<i>Abies</i>)	2,0
Лиственница (<i>Larix sibirica</i>)	1,8

2. Снижение расхода древесины на получение волокнистых полуфабрикатов – с 4, 0 м³ /тонну для лиственной целлюлозы до 2,7 м³ /тонну для осиновой блененной ХТММ.

3. Снижение расхода волокнистого сырья за счет увеличения пухлости при использовании в композиции БХТММ.

4. Сокращение расхода реагентов и энергии, в частности благодаря отказу от использования ступеней отбеливания диоксидом хлора.

5. Сокращение расхода энергии на сушку благодаря более высокой пухлости бумаги.

6. Сокращение расхода энергии на сушку хвойной целлюлозы, обладающей большей гидрофильностью, чем лиственная.

7. Увеличение использование биотоплива за счет более глубокой делигнификации при варке (с Каппа 15-16 до Каппа 10-11).

За период январь-ноябрь 2022г НПАО «Светогорский ЦБК» произвел 79 456 т бумаги ЭКО для офисной техники и 9 577 т офсетной бумаги ЭКО, таким образом выпуск бумаги по бесхлорной технологии составил 89 033 т.

Проведем примерный расчет снижения потребления древесины при производстве бумаги ЭКО.

Композиция белой офисной бумаги включает: 30% ХЦ/70% ЛЦ; 0-30% БХТММ; 23% РСС.

Для упрощенных расчетов возьмем следующее распределение органической составляющей в белой офисной бумаге: 20% ХЦ; 60% ЛЦ; 20 БХТММ.

Композиция офисной бумаги ЭКО: 60% ЛЦ; 40% БХТММ; 21-22% РСС.

Таблица 4.15 – Расчет объема древесины на производство 89 033 т белой офисной бумаги и бумаги ЭКО

Белая офисная бумага		Бумага ЭКО	
Усредненная композиция, %			
Хвойная целлюлоза	20	Хвойная целлюлоза	0
Лиственная целлюлоза	60	Лиственная целлюлоза	40
БХТММ	20	БХТММ	60
Исходные параметры для расчета			
Расход древесины на тонну хвойной небеленой целлюлозы, м ³			4.9
Потери на отбелку хвойной целлюлозы, %			8.6
Расход древесины на тонну хвойной беленой целлюлозы, м ³			5.4
Расход древесины на тонну лиственной целлюлозы, м ³			4,0
Расход древесины на тонну лиственной БХТММ, м ³			2.7
Выпуск бумаги ЭКО в 2022 г. (январь-ноябрь), т			89033

Количество сырья на производство 89 033 т. белой офисной бумаги		Количество сырья на производство 89 033 т. офисной бумаги ЭКО	
Хвойная древесина (производство хвойной целлюлозы), м ³	95462,1	Хвойная древесина (производство хвойной целлюлозы), м ³	0,0
Осина/береза (производство лиственной целлюлозы), м ³	213679,2	Осина/береза (производство лиственной целлюлозы), м ³	142452,8
Осина (производство БХТММ), м ³	48077,8	осина (производство БХТММ), м ³	144233,5
ИТОГО		ИТОГО	
Хвойная древесина, м ³	95462,1	Хвойная древесина, м ³	0,0
Осина, м ³	261757,0	Осина, м ³	286686,3

Таким образом, на производство 89 033 т бумаги ЭКО, по сравнению с белой офисной бумагой потребовалось на 95 462 м³ меньше хвойной древесины и на 24 929 м³ больше осины. **Общее потребление древесины сократилось на 70 533 м³.**

Таблица 4.16 – Расчет расхода древесины на 1 тонну офисной бумаги и бумаги ЭКО

Белая бумага		Бумага ЭКО	
Хвойная целлюлоза	20 %×5,4=1,08		
Лиственная целлюлоза	60 %×4,0=2,40	Лиственная целлюлоза	40 %×4,0=1,60
БХТММ	20 %×2,7=0,54	БХТММ	60 %×2,7=1,62
Итого	4,02	Итого	3,22
Экономия древесины: 4,02–3,22=0,8 м ³ /т, 0,8:4,02=20 %			

Для приближенного расчета сокращения углеродного следа можно наметить основные направления расчета:

- сокращение возраста рубки, который составляет для осины – от 40 лет; для березы – от 60 лет, для сосны – от 80 лет;
- снижение расхода древесины на получение волокнистых полуфабрикатов – с 4,2 м³/т для лиственной целлюлозы до 2,7 м³/т для осиновой блененой ХТММ;
- снижение расхода волокнистого сырья за счет увеличения пухлости при использовании в композиции БХТММ;
- сокращение расхода реагентов и энергии, в частности благодаря отказу от использования ступеней отбеливания диоксидом хлора.
- сокращение расхода энергии на сушку благодаря более высокой пухлости бумаги;
- сокращение расхода энергии на сушку хвойной целлюлозы, обладающей большей гидрофильностью, чем лиственная;
- увеличение использование биотоплива за счет более глубокой делигнификации при варке (с Каппа 15-16 до Каппа 10).

Таким образом, предварительные исследования показали, что углеродный след нового вида офисной бумаги – бумаги ЭКО примерно в 1,2-1,5 раз ниже, чем у бумаги офисной марок «А» и «В». Установлено, что переход к производству нового вида офисной бумаги – бумаги ЭКО резко уменьшает экологическое воздействие предприятия на окружающую среду – ХПК стоков после очистки сократился на одну треть.

Бумага ЭКО прочно вошла в практику. В связи с этим в ВШТЭ М.А. Мидуковой (под руководством д.т.н. Е.Г. Смирновой), была выполнена диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук «Совершенствование технологии переработки макулатуры из офисной бумаги с печатью». В работе, в частности, на основании полученных результатов показана возможность использования в качестве сырья макулатуру, содержащую бумагу «SvetoCopy ЭКО».

Заключение

Таким образом, проведённая работа позволила расширить ассортимент производимых в России марок офисной бумаги [127]. Как указывалось в начале диссертации, в России основными производителями офисной бумаги являются Светогорский ЦБК, Сыктывкарский ЛПК и Коряжма, АО «Группа «Илим». В Светогорске офисная бумага производится на самой производительной бумагоделательной машине в России, производящей в сутки свыше 1000 тонн офисной бумаги, в реконструкцию которой было вложено свыше полумиллиарда долларов.

Рекомендованная для государственных и муниципальных закупок новая офисная бумага ЭКО и ЭКО2 – офисная бумага марки «Сэ», поставленная на производство Светогорским ЦБК в 2022-2023 годах [127], является новым инновационным продуктом, созданным отечественными инженерами и учеными для офисной струйной и лазерной техники, для черно-белой и цветной печати. Офисная бумага «Сэ» имеет необходимый и достаточный уровень белизны и великолепные печатные свойства, обеспечивающие возможность её использования на всех типах и видах принтеров. В соответствии с ГОСТ Р 57641-2017, белизна бумаги марки «Сэ» составляет 60%, что позволяет производить её из частично белёной целлюлозы, в смеси с белёной химико-термомеханической массой. Производства белёной и частично белёной целлюлозы имеют значительные отличия в виде используемых отбеливающих веществ и их расходе. Применяемые при получении частично белёной целлюлозы реагенты (молекулярный кислород и перекись водорода) позволяют полностью исключить химикаты с содержанием хлора. Бумага, произведенная без применения хлора, бумага с отбелкой TCF, проходит сертификацию и имеет право на маркировку своей продукции знаком «свободен от хлора». Для производства частично белёной целлюлозы требуется значительно меньшее количество отбеливающих химикатов, которое может изменяться в зависимости от используемой

технологии. Производство частичной белёной целлюлозы позволяет снизить нагрузку на очистные сооружения предприятия, что в свою очередь повышает их эффективность и уменьшает потребление энергии на очистку стоков.

При производстве частично белёной целлюлозы, древесное волокно подвергается меньшему химическому воздействию, в результате чего повышаются механические свойства бумаги. Передовые технологии и использование частично белёной целлюлозы позволяют, при необходимости, полностью исключить потребление сырья из хвойных пород древесины, заменив его лиственными породами. Данное замещение востребовано лесозаготовителями, так как лиственные породы растут быстрее.

Марка «Сэ» (ЭКО и ЭКО2) имеет отличия в показателях белизны и яркости по сравнению с другими марками бумаг для офисной техники, что позволяет исключить применение оптических отбеливателей. Вместе с тем, данные отличия касаются исключительно оптических параметров бумаги, и производимая бумага сохраняет все физико-механические и печатные свойства.

Вся документация, необходимая для реализации продукции на рынке, включающая в себя спецификации для клиентов, коммуникационный материал об обновленном продукте, дополнительные соглашения, а также технические условия ТУ17.12.14-001-00253497-2022 полностью разработаны совместными командами в самые короткие сроки.

По запросу клиентов сегодня ЦБК может выпускать офисную бумагу в линейке от 70 г/м² до 80 г/м², а БДМ-4 полностью обеспечена заказами SvetoCopy ECO.

ПАРАМЕТРЫ	 Svetogor Copy Classic	 Svetogor Copy ECO
ВЕС (г/м ²)	80 ± 3	80 ± 3
ТОЛЩИНА (мкм)	104 ± 2	104 ± 2
ЩЕЛОЧНОСТЬ (мг/л)	По ГОСТ 328	По ГОСТ 328
НЕЙТРОФИЛЬНОСТЬ (% от массы)	91	91
КОЭФ (г/м ²)	28-30	28-30
ЖЕСТКОСТЬ МН (кН, на ммек)	105	105
ЖЕСТКОСТЬ ПН (кН, на ммек)	45	45
ВЛАЖНОСТЬ (%)	4,0 ± 0,7	4,0 ± 0,7
БЕЛКОЗА (по ISO %, от массы)	91	91
ОТВЕЛКА (г/кг/ч)	Без хлора и хлора в виде соединений 	Содержит хлор 



Офсетные бумаги производятся в рулонах и имеют такие же технические характеристики, как и офисные бумаги (Таблица 4.17.). Это дает большую гибкость для производства, а клиентам ЦБК – продукт высокого качества.

Таблица 4.17 – Офсетные марки бумаги, выпускаемые Светогорским ЦБК

Параметры	80 г/м ²	75 г/м ²	70 г/м ²	65 г/м ²
	Офсет ECO	Офсет ECO	Офсет ECO	Офсет ECO
Вес, г/м ²	80±3	75±2	70±2	65±2
Толщина, мкм	104±2	102±2	95±2	84±2

Разрывная длина, км, не менее	5	5	5	5
Непрозрачность, %, не менее	93	92	92	92
Кобб, г/м ² , не более	30	30	30	30
Влажность, %	4,6±0,7	4,6±0,7	4,6±0,7	4,6±0,7
Белизна по ISO, %, не менее	60	60	60	60

По запросу от клиентов офсетные бумаги могут быть произведены в диапазоне граммажей от 65 г/м² до 80 г/м².

Таким образом, за счет инновационных изменений части технологических процессов, необходимых для отбеливания целлюлозы, при производстве бумаги из частично белёной целлюлозы существенно (на одну треть) снижается углеродный след - количество тонн углекислого газа на тонну готовой продукции.

Бумага Сэ хорошо перерабатывается во вторичное волокно (макулатуру) и полностью биоразлагаемая. Поверхность бумаги Сэ — идеально гладкая.

Бумага Сэ поставляется в форматах А4 и А3 и плотностях 60 и 80 г/м². Применение — квитанции, медицинская документация, курсовые и дипломные работы, проведение ЕГЭ и ОГЭ, деловая документация, презентации, брошюры, поздравления и другая печатная продукция, распечатываемая в офисе и в повседневной жизни.

Как уже отмечалось, кремовый оттенок бумаги Сэ перекликается с бумагой, на которой традиционно печатается газета Financial Times и с производимой фирмой «Монди» бумагой для офисной струйной и лазерной техники «Маэстро-Колор», однако углеродный след офисной бумаги Сэ значительно ниже.

В связи с созданием новых марок офисной бумаги ЭКО и ЭКО2, были

внесены соответствующие дополнения в технологическую и нормативную документацию (ОКС 85.060. ИЗМЕНЕНИЕ № 1 ГОСТ Р 57641–2017 Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия. Утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18.11.2022 № 1320 – ст. Дата введения –01.12. 2022); в Приложении 1 к диссертации приведены эти материалы [127].

В соответствии с поручением Президента РФ, данным им в феврале 2023 года на совещании по проблемам Лесопромышленного комплекса (Сайт РАО Бумпрома. Апрель 2023), офисная бумага из частично белёной целлюлозы рекомендована Минпромторгом РФ для включения в государственный и муниципальный заказы (Письмо Минпромторга от 25.03.2024 №29715/08 приведено как Приложение 2 к Диссертации).

В заключение автор считает необходимым выразить свою благодарность своим коллегам, рабочим и инженерам Светогорского ЦБК и ученым ВШТЭ, принимавшим участие в описанных в диссертации экспериментах и в постановке на производство бумаги ЭКО и ЭКО2.

Визуальное сравнение классической и эко офисной бумаги



Работа выполнена в рамках стратегического проекта «Развитие производства биоразлагаемой упаковки на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП)» по программе «Приоритет 2030».

Выводы

1. На основе частично белёной целлюлозы, белёной химико-термомеханической массы (БХТММ) и наполнителя - осажденного карбоната кальция (РСС), созданы новые виды офисной бумаги - бумага ЭКО и ЭКО2. В бумаге ЭКО использована только листовенная частично белёная целлюлоза, а в бумаге ЭКО2 – частично белёная листовенная и хвойная целлюлоза. Постановка на производство бумаги ЭКО и ЭКО2 обеспечила технологический суверенитет страны в области производства офисной бумаги, цифровых технологий, обеспечила персональные компьютеры и принтеры новой маркой бумаги, обладающей необходимым и достаточным уровнем белизны, при уменьшенном «углеродном следе».

2. Впервые рассмотрена роль мелочи и наполнителя в формировании на бумагоделательной машине морфологической структуры офисной бумаги.

3. Проведенные исследования, результаты опытно-промышленных и промышленных выработок позволили перевести БДМ №4 Светогорского ЦБК на серийное производство новых видов бумаги — офисную бумагу марок ЭКО и ЭКО2, с соответствующим дополнением действующих стандартов. В 2022 г. выпущено 100 тыс. т офисной бумаги марки ЭКО, а в 2023 г. — около 50 тыс. т бумаги ЭКО2.

4. Уменьшенный «углеродный след» офисной бумаги марок ЭКО и ЭКО2 обеспечивается за счет перехода от отбелилки ЕСF к отбелилке ТСF, снижения расхода воды и реагентов, расширения использования осино́вой древесины.

Список сокращений (рус.)

АКД – димеры алкилкетена

А.с.в. – абсолютно сухое волокно

АПК – агропромышленный комплекс

БДМ – бумагоделательная машина

БВК – башня высокой концентрации

БХТММ – беленая химико-термомеханическая масса

ВВ – взвешенные вещества

ВПФ – волокнистый полуфабрикат

ГАП – гибкое автоматизированное производство

ДВП – древесно-волоконная плита

ДСП – древесно-стружечная плита

ЕЭК ООН – Европейская экономическая комиссия Организации объединенных наций

ИКТ – информационно-коммуникационные технологии

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика

КПД – коэффициент полезного действия

КЩО – кислородно-щелочная обработка

ЛПК – лесопромышленный комплекс

ЛРК – лабораторно-размалывающий комплекс

ЛЦ – листовая целлюлоза

ММ – макулатурная масса

МН – машинное направление

НДТ – наилучшие доступные технологии

ООН – Организация объединенных наций

ОСП – Ориентированно-стружечная плита

ПАВ – поверхностно-активные вещества

ПГ – парниковые газы

ПН – поперечное направление

СГБ – санитарно-гигиеническая бумага

СРК – содорегенерационный котел

ТММ – термомеханическая масса

ФАО ООН – продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН

ХВВ – химически вредные вещества

ХПК – химическое потребление кислорода

ХЦ – хвойная целлюлоза

ЦБК – целлюлозно-бумажный комбинат

ЦБП – целлюлозно-бумажная промышленность

Список сокращений (англ.)

APMP – Alkaline Peroxide Mechanical Pulp

BCTMP – Bleached Chemi-ThermoMechanical Pulp

ECF – elemental chlorine-free

EOP – Extraction Oxide & Peroxide

GCC – – ground calcium carbonate

NFPP — Natural Forest Protection Program

OSB — Oriented Strand Board

PCC – precipitated calcium carbonate

TCF – totally chlorine-free

Библиографический список

1. Hansen, E., Panwar, R., Vlosky, R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects / Publisher: CRC Press, Taylor & Francis Group. – NY. – 2014. – 462 p.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. В 3-х томах. – СПб: ЛТА, 2002.
3. Papermaking Science and Technology // 20-volume Papermaking Science and Technology book series / Publisher: Finnish Paper Engineers Association and TAPPI [Electronic resource]. – URL: <https://www.tappi.org/publications-standards/books/papermaking-science-and-technology-book-series/> (date of treatment: 23.12.2022)
4. Smook, G. A., Kocurek, M. Handbook for pulp & paper technologists // The Smook book series / Publisher: TAPPI Press; edition 4th. – № 1. – 2016. – 438 p.
5. Global Outlook for Cut Size Uncoated Freesheet Markets 2021 // Fastmarkets [Electronic resource]. – URL: <https://www.fastmarkets.com/forest-products/special-studies/cut-size-uncoated-freesheet-markets/> (date of treatment: 03.01.2022)
6. Forest Products Annual Market Review 2021-2022 / Publisher: UNECE, FAO. – Geneva. – 2022. – 65 p. [Electronic resource]. – URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-02/2228765E_Inside_final_signal_red.pdf (date of treatment: 05.02.2023)
7. Аким, Э. Л. Биорефайнинг осины / Э.Л. Аким, Я.В. Бучельникова, Л.К. Молотков, М.В. Коваленко, Ю.Г. Мандре, Ю.Н. Заяц, А.Д. Сергеев, О.В. Рыбников, Н.Я. Рассказова // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 8. – С. 26–31.
8. Аким, Э. Л. Плантационное выращивание тополя и развитие лесного сектора Китая / Я. В. Бучельникова, Л. К. Молотков, М. В. Коваленко, Ю. Г. Мандре, Ю. Н. Заяц, А. Д. Сергеев, О. В. Рыбников, Н. Я. Рассказова // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 8. – С. 63–68.

9. Аким, Э. Л. Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки как путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия / Э. Л. Аким, Ю. Г. Мандре, С. И. Пондарь, Ю. Н. Заяц, А. Д. Сергеев, М. В. Коваленко, О. В. Рыбников // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 9. – С. 20–27.

10. Рыбников, О. В. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного предприятия ЦБП / О. В. Рыбников, Н. П. Бондаренко, Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2013. – № 5. – С. 63–68.

11. Аким, Э. Л. Инновационные технологии биорефайнинга лиственницы и осины как важные шаги на пути к углеродной нейтральности российского ЛПК / Э. Л. Аким, О. В. Рыбников, А. А. Пекарец, О. В. Федорова, Л. Г. Махотина, П. В. Луканин, С. З. Роговина, А. А. Берлин // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII международной научно-технической конференции посвященной памяти профессора В. И. Комарова. – Архангельск: САФУ им. М. В. Ломоносова, 2023. – С. 296–301. ISBN 978-5-261-01688-5.

12. Таразанов, А. А. Исследование влияния варки смеси березы и осины на морфологическую структуру и водоудержание волокна / А. А. Таразанов, Е. А. Бобкова, Ю. Т. Юрьева, О. В. Рыбников, Э. Л. Аким // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII международной научно-технической конференции посвященной памяти профессора В. И. Комарова. – Архангельск: САФУ им. М. В. Ломоносова, 2023. – С. 186–191. ISBN 978-5-261-01688-5.

13. Rybnikov Oleg, Grishin Alexey, Akim Eduard. University of St. Petersburg ecorpaper from unbleached hardwood pulp and aspen. Carbon footprint 60-65 ISO Brightness - copy paper made from unbleached hardwood pulp and Aspen Bleached Chemical-Thermomechanical Pulp (BCTMP). / Circularity concepts in the pulp and paper industry // Journal of United Nations, Geneva, 2023, pp. 103-104. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-11/ECE_TIM_2023_Inf.5_FAO_EFC_2023_Inf.5.pdf (date of treatment: 10.02.2023)

14. Аким, Э.Л. Органоминеральные целлюлозные композиционные материалы информационного назначения (офисные виды бумаги) /Э. Л. Аким, О. В. Рыбников, О. В. Федорова, А. А. Таразанов, Е. А. Бобкова, Ю. Т. Юрьева, А. А. Гришин, С. З. Роговина, А. А. Берлин // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2024. – № 5. С. 2–14. Akim E.L., Rybnikov O.V., Fedorova O.V., Tarazanov A.A., Bobkova E.A., Yuryeva Y.T., Grishin A.A., Rogovina S.Z., Berlin A.A. Organomineral cellulose composite materials for informational purposes (office types of paper). Polymer Science, Series D. 2024, №4.

15. Смирнова, Е. Г. Рециклинг бумаги «SVETOCOPY ЭКО» / Е. Г. Смирнова, М. А. Мидукова, В. Н. Селезнёв, О. В. Рыбников, Э. Л. Аким // Химические волокна. – Мытищи: АНО «Редакция журнала «Химические волокна». – 2024. – № 1. – С. 12-17.

16. Аким, Э. Л. Механодеструкция и хемодеструкция лигнина при производстве БХТММ и сульфатной целлюлозы / Э. Л. Аким, А. В. Епифанов, Г. Я. Фролов, О. В. Рыбников, Н. Б. Фирстова // Физикохимия растительных полимеров: материалы X международной конференции. – Архангельск: изд-во САФУ им. М.В. Ломоносова, 2023. – С. 86–90. ISSN 978-5-261-01677-9.

17. Патент РФ 2459024, МПК D21В 1/02. Способ переработки зараженных гнилью балансов / Аким Э. Л., Рыбников О. В., Мандре Ю. Г., Коваленко М. В., Мазитов Л. А., Цветков Д. И., Логунков В. В.; патентообладатель: ОАО «Группа «Илим». – № 2010152042/12, заявл. 06.09.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.

18. Химический состав и физические свойства тонера // Оргп rint Россия [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.orgprint.com/wiki/lazernaja-pechat/sostav-i-svoystva-tonera> (дата обращения 10.05.2024).

19. Getzlaff, M. Nanoparticles in toner material / M. Getzlaff, M. Leifels, P. Weber, Ü.Kökcam-Demir, Ch. Janiak // SN Applied Sciences. – 2019. – No. 5. – Vol. 1. – 14 p.

20. Getzlaff, M. Magnetic nanoparticles in toner material / M. Getzlaff, M. Leifels, P. Weber, A. Kakcam-Demir, Ch. Janiak // Nano-Structures & Nano-Objects. – 2020. – No. 22. – p. 19–23.

21. Metso Learning. MetsoPaper. Inc. 2007 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www8.austlii.edu.au/au/other/FWCAgmt/2016/11906.pdf> (дата обращения 19.05.2023).

22. HP и International Paper – технология ColorLok, которая меняет характеристики обычной бумаги // НИКС [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nix.ru/computer_hardware_news/hardware_news_viewer.html?id=69462 (дата обращения 10.05.2024).

23. А. с. 1659558 СССР, МПК D21H 19/68. Способ изготовления бумажного полиграфического материала для слепых / Аким Э. Л., Зеликсон Б. М., Гелилов Е. И., Плоткин Л. Л., Тимошук Т. С., Жохов В. П., Рогушин В. К., Шумилов В. А., Анджель Е. А.; заявитель: Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности. – № 3892168, заявл. 11.05.1985; опубл. 30.06.1991.

24. Россия на рынках передового производства / докл. к XXII Апрельской междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. // Симачев Ю. В. (рук. авт. кол.), Федюнина А. А., Юревич М. А. и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. – 112 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.hse.ru/data/2024/02/29/2082823410/%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F_%D0%BD%D0%B0_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%85.pdf (дата обращения 21.05.2023).

25. Херберт, П. Тенденции глобальных рынков ЦБП и проект «Лиственница» / П. Херберт, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 6. – С. 3–9.

26. Чуйко, В. А. Актуальные проблемы инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности России / В. А. Чуйко, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 8. – С. 3–9.

27. Плантационное лесоводство / Под ред. И. В. Шутова // СПб. – 2007. – 365 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.woodbusiness.ru/books.php?uid=51> (дата обращения 31.05.2023)
28. Arvydas Lebedys and Walter Kollert. Actual Situation in the Poplar Markets. Global outlook on resources, markets and trends of poplar. / 1st European meeting of Poplar Producers; Valladolid, Spain, 18–19 May 2010.
29. Аким, Э. Л. Электронно-микроскопические исследования анатомического строения древесины лиственницы / Э. Л. Аким, Л. К. Молотков, Н. Н. Сапрыкина, М. В. Коваленко, Ю. Г. Мандре, Л. Г. Махотина, А. Д. Сергеев, Н. В. Виноградов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 7. – С. 3–10.
30. International Poplar Commission COUNTRY REPORTS P. R. China Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization. 2012-2015.
31. Sebrands, J. G., Richardson, J. Poplars and willows. Trees for society and the environment / Publisher: FAO and CABI. – 2024. – 699 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a34b3e72-733a-41ea-9e70-5e57e7f89a89/content> (дата обращения 14.06.2023).
32. Forest Products Annual Market Review, 2010-2011 / Publisher: UNECE, FAO. – Geneva. – 2011. – 174 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://unece.org/DAM/publications/timber/FPAMR_2010-2011_HQ.pdf (дата обращения 25.06.2023).
33. Ежегодный анализ рынков лесных товаров 2009-2010 / Организация Объединенных Наций. – Нью-Йорк и Женева. – 2010 г. – Вып. №100. – 232 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://unece.org/DAM/timber/publications/2010-FPAMR_R.pdf (дата обращения 30.06.2023).
34. Tissary, J. State of the World's Forests / ACPWP-2011, Rome, 2011. 23-25 May 2011, Montebello, Canada.
35. Urban forestry in Beijing / The Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forest Resources in China — National Forest Inventory / National Forestry and Grassland Administration. Report China Rome, 2020.

36. Flynn, R. China Timber Supply Outlook 2008–2012. Boston, MA: RISI, Inc.
37. Sun, X. and Canby, K. China: Overview of Forest Governance, Markets and Trade / European Forest Institute & Forest Trends. – 2010 – 52 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/baseline_study_china_report_en.pdf (дата обращения 04.07.2023).
38. Urban China. Toward Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization / The World Bank. Development Research Center of the State Council, the People's Republic of China // World Bank Group. – Washington, DC. – 2014. – 111 pp. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/EAP/China/WEB-Urban-China.pdf> (дата обращения 09.07.2023).
39. China 2030. Building a Modern, Harmonious, and Creative Society / The World Bank. Development Research Center of the State Council, the People's Republic of China // The World Bank. – 2013. – 473 pp. [Электронный ресурс]. – URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/781101468239669951/pdf/China-2030-building-a-modern-harmonious-and-creative-society.pdf> (дата обращения 09.07.2023)
40. Xu, J. China's new forests aren't as green as they seem / Nature. – Vol. 477. – P. 371. – 2011. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html> (accessed April 16, 2012).
41. Xu, J., White, A., and U. Lele. China's Forest Land Tenure Reforms: Impacts and Implications for Choice, Conservation and Climate Change / Washington: Rights and Resources Initiative. – 2010. – 8 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rightsandresources.org/wp-content/uploads/Xu-White-Lele-China%2527s-Forest-Tenure-Reforms-%2528Brief%2529.pdf> (дата обращения 09.07.2023)
42. Kelly B. Rose. Survival and restoration of China's native forests imperiled by proliferating tree plantations / Woodrow Wilson School of Public and International Affairs. May 2, 2018.

43. Hua, F. Tree plantations displacing native forests: the nature and drivers of apparent forest recovery on former croplands in Southwestern China from 2000-2015 / F. Hua, L. Wang, B. Fisher, Z. Xinlei, X. Wang, W. Y. Douglas, Y. Tange, J. Zhu, D. S. Wilcove. – 2018. – 53 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/157817203.pdf> (дата обращения 29.09.2023)

44. Efficiency and value poplar, a sustainable answer for Europe's forestry industry // ProPopulus Team. February 22, 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://propopulus.eu/en/poplar-a-sustainable-answer-for-europes-forestry-industry/> (дата обращения 19.03.2024)

45. Аким, Э. Л. Взаимодействие целлюлозы и других полисахаридов с водными системами / Глава в монографии «Научные основы химической технологии углеводов» под ред. Захарова А. Г. – М.: ЛКИ. – 2008. – Гл. 7. – С. 265–348.

46. Forest Products Annual Market Review 2018-2019 / Publisher: UNECE, FAO. – Geneva. – 2019. – 151 p. [Электронный ресурс]. – <https://unece.org/DAM/timber/publications/SP48.pdf> (дата обращения 15.11.2022)

47. Аким, Э.Л. Биорефайнинг древесины // Химические волокна, 2016. – № 3. – С. 14–18.

48. Аким, Г. Л. Кислородно-щелочная обработка целлюлозы / В кн.: «Технология целлюлозно-бумажного производства» в 3 т. // Т. 1.: Древесное сырье и производство полуфабрикатов; Ч. 2: Производство полуфабрикатов – СПб: Изд-во Политехника, 2003. – Стр. 451-470.

49. Яблоков, А. С. Воспитание и разведение здоровой осины / А. С. Яблоков. – М., Л.: Изд-во Гослесбумиздат, 1963. – 440 с.

50. Аким, Э. Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки и переработки бумаги и картона) / М.: Изд-во Лесная промышленность, 1979. – 232 с.

51. Аким, Э.Л., Махотина, Л.Г. Технология обработки бумаги и картона / В кн. «Технология целлюлозно-бумажного производства» в 3 т. // Т. II.

Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника. – 2005. – С. 303-351.

52. Аким, Э.Л., Махотина, Л.Г. Тароупаковочные виды бумаги и картона / в кн. Технология целлюлозно-бумажного производства» в 3 т. // Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. – СПб.: Политехника. – 2006. – С. 219–245; С. 279–284.

53. Махотина, Л. Г. Современные тенденции в технологии мелованных видов бумаги и картона: учебное пособие / СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 76 с.

54. Lehtinen, E. Pigment Coating and Surface Sizing of Paper / Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI. – 2000. – 810 p.

55. Бондарев, А. И. Производство бумаги и картона с покрытием / М.: Лесная промышленность. – 2007. – 192 с.

56. Oittinen, P. Printing / P. Oittinen, H. Saarelma. – Finnish Paper Engineer's Association and TAPPI. – 1998. – 298 p.

57. Российский рынок бумаги для печати. Состояние, тенденции и перспективы развития: отраслевой доклад // Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям. – М.: 2012. – 114 с.

58. ICFPA Sustainability Progress Report / International Council of Forest and Paper Associations. – 2015. – 50 p.

59. ICFPA 2020–2021 Sustainability Progress Report 2022, 18 p.

60. Key Statistics, 2016 / Confederation of European Paper Industries (CEPI). – Brussels. – 2017. – 37 p.

61. Key Statistics, 2019 / Confederation of European Paper Industries (CEPI). – Brussels. – 2020. – 31 p.

62. Мировые лидеры по выпуску мелованной бумаги [Электронный ресурс] // ЛесОнлайн.ру. – Режим доступа: <https://www.lesonline.ru/>.

63. ОКС 85.060. Изменение № 1 ГОСТ Р 57641–2017 Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия. Утверждено и введено в действие Приказом Федерального агентства по

техническому регулированию и метрологии от 18.11.2022 № 1320 – ст. Дата введения – 01.12. 2022.

64. Патент РФ 2493309, МПК D21C 7/00. Аппарат для обработки растительных целлюлозосодержащих материалов / Аким Э. Л., Мандре Ю. Г., Коваленко М. В., Сергеев А. Д., Мазитов Л. А., Таразанов А. А.; патентообладатель: ОАО «Группа «Илим». – № 2012115528/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.

65. А. с. 1606558 СССР, МПК D21B 1/02. Способ определения количественного содержания древесины березы и осины в технологической щепе / Рыкова Т. М., Стромская Г. И., Заказов А. Н., Литвинцева М. Б.; заявитель: Сибирский научно-исследовательский институт целлюлозы и картона. – № 4620702, заявл. 14.12.1988, опубл. 15.11.1990.

66. ISO 5269-2. Pulps — Preparation of laboratory sheets for physical testing — Part 2: Rapid-Köthen method. Confirmed in 2019. – Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2019. – 8 p.

67. ГОСТ 30113 – 94. Бумага и картон. Метод определения белизны. Издание официальное: дата введения 01.01.1997. – Минск: Межгосударственный стандарт, 2005. – 6 с.

68. ISO 1924/2 Paper and board — Determination of tensile properties — Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min). Confirmed in 2018. – Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018. – 8 p.

69. ISO 2758 Paper — Determination of bursting strength. Confirmed in 2020. – Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2020. 12 p.

70. ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия».

71. ISO 20494:2017. Paper — Requirements for stability for general graphic applications.

72. ГОСТ 30113 – 94. Бумага и картон. Метод определения белизны. Издание официальное: дата введения 01.01.1997. – Минск: Межгосударственный стандарт, 2005. – 6 с.

73. «Forest Products Annual Market Review, 2011-2012». UN ECE/FAO, United Nations, New York and Geneva, 2012, – 166 p.

74. Состояние лесов мира 2009, FAO, United Nations, Rome, 2009, 177 p.

75. The United Nations World Water Development Report, 3. 2009, 344 с.

76. Мандре, Ю. Г. Эколого-технологическая реконструкция ОАО «Светогорск» / Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2005. – № 6. – С. 20-22.

77. Мандре, Ю. Г. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция предприятий ЦБП и проблема «отравления» технологических схем / Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – № 1. – С. 26-30.

78. Мандре, Ю. Г. Проблемы «отравления» технологических схем при промывке небеленой целлюлозы / Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – № 7. – С. 68-75.

79. Мандре, Ю. Г. Проблемы «отравления» технологических схем на бумагоделательной машине и при производстве товарной / Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – № 4. – С. 34-40.

80. Смирнов, М. Н. Современная концепция водопользования на предприятиях ЦБП / М. Н. Смирнов, Ю. Х. Локшин, А. М. Смирнов, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2006. – № 4. – С. 66-74.

81. Смирнов, А. М. Водопользование — реализация инновационных идей / А. М. Смирнов, М. Н. Смирнов, С. С. Мошкин, М. В. Коваленко, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 8. – С. 66-72.

82. «Water Use Reduction in the Pulp and Paper Industry», PAPRICAN, Second Edition, December 2001, 172 p.

83. «Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry», PAPRICAN, First Edition, November 1999, 234 p.

84. Мандре, Ю. Г. Резервы водосбережения при реконструкции сульфатцеллюлозных заводов / Ю. Г. Мандре, М. В. Коваленко, Н. В. Виноградов, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 2. – С. 42-47.

85. Мандре, Ю. Г. Сжигание дурнопахнущих газов – логический этап эколого-технологической реконструкции / Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2005 – № 7. – С. 24-27.

86. Аким, Э. Л. Особенности использования осиновой древесины в ЦБП / Э. Л. Аким, М. В. Коваленко, Н. Я. Рассказова, Я. В. Бучельникова // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 8. – С. 54-61.

87. Смирнов, А. М. Инновационная технология водоподготовки и доочистки стоков - реконструкция песчаных фильтров (фильтров с зернистой загрузкой) в высокоэффективные флото-фильтры / А. М. Смирнов, М. Н. Смирнов, Ю. Г. Мандре, М. В. Коваленко, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 4. – С. 36–42.

88. Смирнов, А. М. Физико-химическая очистка стоков беленой химико-термомеханической массы (БХТММ) / А. М. Смирнов, М. Н. Смирнов, М. В. Коваленко, Э. Л. Аким // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 3. – С. 53-58.

89. Смирнов, М. Н. Атака на тишь / М. Н. Смирнов, Э. Л. Аким, Н. И. Киселев, С. Н. Коваль, С. А. Кутулян, Ю. А. Нужин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 3. – С. 59-63.

90. Патент РФ № 2327646, МПК С02F1/24, В03D 1/02, С02F103/28. Способ очистки сточных вод напорной флотацией / Аким Э. Л., Смирнов М. Н., Мандре Ю. Г., Калчев Р.; патентообладатель: Аким Э. Л. – № 2007102694/15, заявл. 25.01.2007; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 18.

91. Патент РФ № 2347751, МПК С02F1/00, С02F1/24, В03D1/14. Устройство для очистки сточной воды / Аким Э. Л., Смирнов М. Н., Мандре Ю. Г., Калчев Р.; патентообладатель: Аким Э. Л. – № 2007112001/15, заявл. 02.04.2007; опубл. 27.02.2009, Бюл. № 6.

92. Патент РФ № 2347754, МПК C02F1/24. Устройство для флотационной очистки сточных вод / Аким Э. Л., Алдохин Н. А., Беляков А. В., Смирнов М. Н.; патентообладатель: Аким Э. Л. – № 2007135266/15, заявл. 24.09.2007; опубл. 27.02.2009, Бюл. № 6.

93. Аким, Э. Л. Технология сульфатной варки. Конкурентоспособность периодической и непрерывной варок в условиях реконструкции предприятий / Э. Л. Аким, Ю. Г. Мандре, Ю. С. Иванов, М. В. Коваленко, С. И. Пондарь, Ю. Н. Заяц, А. Д. Сергеев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2011. – № 4. – С. 52-59.

94. Хван, В., Петров, С. Целлюлозный завод Cerrado: минимальная себестоимость и чистая электроэнергия / РАО Бумпром. Обзор СМИ от 12.04.2024 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://bumprom.ru/news/obzor-smi/obzor-smi-ot-12-aprelya-2024-goda/> (дата обращения 22.05.2024)

95. Кислицын, А. Н. Технология переработки низкотемпературных предгидролизатов лиственницы / А. Н. Кислицын, И. П. Жукова, В. Ю. Пузанова // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1992. – № 3. – С. 17-19.

96. Кислицын, А. Н. Опытная установка по переработке низкотемпературного предгидролизата лиственницы / А. Н. Кислицын, И. П. Жукова, В. Ю. Пузанова, Н. В. Оганина, Г. П. Голубева // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1993. – № 1. – С. 11-13.

97. Horhammer, H. A Larch based biorefinery: preextraction and extract fermentation to Lactic acid / H. Horhammer, S. Walton, A. van Heiningen // *Holzforschung*. – 2011. – Vol. 65, pp. 491-496.

98. Akim, E. *Cellulose Chemistry and Technology* // ACS, Symposium Series, Washington, 48. – 1977, pp. 153-172.

99. Akim, E. Cellulose-Bellwether or old hat // *Chemtech*, November, 1978, pp. 676-682.

100. Аким, Э. Л. Усталостная прочность древесины и релаксационное состояние ее полимерных компонентов / Э. Л. Аким, С. З. Роговина, А. А. Берлин // Доклады Российской академии наук. Химия. Науки о материалах. – 2020. – Т

491. – С. 73–76.

101. От идеи к реализации / Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218. – М.: Инконсалт. – 2021. – 167 с.

102. Forest Sector Outlook 2020-2040 study. Publisher: UNECE, FAO. – Geneva. – 2021. – 78 p. [Электронный ресурс]. – https://unece.org/sites/default/files/2022-05/unece-fao-sp-51-main-report-forest-sector-outlook_0.pdf (дата обращения 05.10.2022)

103. А.с. 2524904 Российская Федерация, МПКD27C3/04. Способ получения сульфатной целлюлозы [Текст] / Сергеев А.Д., Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Махотина Л.Г. - № 2013119079/12, заявл. 25.04.2013; опубл. 10.08.2014, Бюл. № 22. – 4 с.

104. А.с. 2490383 Российская Федерация, МПКD21C1/02. Способ обработки смеси щепы из разных пород древесины перед сульфатной варкой [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2012115522/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 23. – 6 с.

105. А.с. 2472887 Российская Федерация, МПКD21C1/00, D21C3/02. Способ комплексной переработки древесины лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.С., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2011136758/12, заявл. 06.09.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. – 5 с.

106. А.с. 2472888 Российская Федерация, МПКD21C1/06, D21C3/02. Способ получения сульфатной целлюлозы из древесины лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2011141943/12, заявл. 18.10.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. – 7 с.

107. А.с. 2472889 Российская Федерация, МПКD21C3/02, D21C1/06. Способ экстракции щепы лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г.,

Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2011136756/12, заявл. 06.09.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. – 6 с.

108. А.с. 2474636 Российская Федерация, МПКD21C7/00. Устройство для комплексной переработки щепы древесины лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. - № 2011136759/12, заявл. 06.09.2011; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 5 с.

109. А.с. 2475576 Российская Федерация, МПКD21C3/02. Способ экстракции щепы лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Махотина Л.Г., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2011136755/12, заявл. 06.09.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 7 с.

110. А.с. 2477346 Российская Федерация, МПКD21C3/02. Способ получения сульфатной целлюлозы из древесины лиственницы [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Сергеев А.Д., Коваленко М.В. (Российская Федерация) - № 2011125617/12, заявл. 23.06.2011; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. – 6 с.

111. А.с. 2493307 Российская Федерация, МПКD21C3/02. Способ обработки растительных целлюлозосодержащих материалов [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А., Таразанов А.А. - № 2012115524/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26. – 7 с.

112. А.с. 2491379 Российская Федерация, МПКD21C1/00, D21C3/00. Способ получения сульфатной целлюлозы из смеси щепы разных пород древесины [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2012115526/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. – 7 с.

113. А.с. 2491379 Российская Федерация, МПКD21C1/00, D21C3/00. Способ получения сульфатной целлюлозы из смеси щепы разных пород древесины [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2012115526/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. – 7 с.

114. А.с. 2493308 Российская Федерация, МПКD21C3/06. Способ получения сульфитной целлюлозы из смеси щепы разных пород древесины [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А. (Российская Федерация) - № 2012115523/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26. – 7 с.

115. А.с. 2493309 Российская Федерация, МПКD21C7/00. Аппарат для обработки растительных целлюлозосодержащих материалов [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А., Таразанов А.А. (Российская Федерация) - № 2012115528/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26. – 7 с.

116. А.с. 2499857 Российская Федерация, МПКD21C3/02. Способ получения сульфатной целлюлозы для химической переработки [Текст] / Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Коваленко М.В., Сергеев А.Д., Мазитов Л.А., - № 2012115525/12, заявл. 19.04.2012; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33. – 6 с.

117. Патент на полезную модель 134435 Российская Федерация, МПКВ01D11/02. Экстракционная установка непрерывного действия [Текст] / Аким Э.Л., Мазитов Л.А., Куров В.С., Сергеев А.Д., Мидуков Н.П., Никифоров А.О.. - № 2013129745/05, заявл. 01.07.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. – 2 с.

118. , Бумагообразующие свойства белёных волокнистых полуфабрикатов высокого выхода с пониженной ресурсоёмкостью / М. М. Лысаченкова, Я. В. Казаков // Глава в книге: Экологические аспекты современных технологий в химико-лесном комплексе. – Архангельск 2022, стр.62-65

119. Karlson H. Fiber Guide-Fiber analysis and process applications in the pulp and paper industry /- АВ Lorentzen&Wettre, 2006/ -120 p.

120. Дьякова Е.В., Комаров В.И. Технология механической массы: учеб. Пособие; под ред. Проф Комарова В.И. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. -203 с.

121. Smolin A.S., Akim E.L. Role of the relaxation state of polymer components in wood when making composite packaging materials (corrugated cardboard) // *Fiber Chemistry*. – 2018. – Vol. 50. – № 4.

122. Чупка Э. И. Окислительно-восстановительные превращения лигнина и углеводов при щелочных обработках древесины: Монография. — СПб.: Медиапапир, 2023. — 498 с.

123. Papermaking Chemistry. TAPPI. <https://www.tappi.org> › content › PRESS › TOC. Volume 4 of the Papermaking Science and Technology Series, published by the Finnish Paper. Engineers' Association and TAPPI.

124. Gess Jerome M. Retention of Fines and Fillers During Papermaking. 1998. 357 pages. Amazon.com.<https://>. ISBN-13: 978-0898520668, ISBN-10: 0898520665.

125. T.G.M. van de Ven. Review: Filler and fines retention in papermaking. In Advances in Paper Science and Technology, Trans. of the XIII-th Fund. Res. Symp. Cambridge, 2005. DOI: 10.15376/frc.2005.2.1193.

126. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСТ Р 15.301-2016 Система разработки и постановки продукции на
производство ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ Порядок разработки и постановки продукции на производство.

127. Изменение № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для оргтехники. Общая спецификация»; утверждено приказом Росстандарта от 18.11.2022 г. № 1320ст.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к окончательной редакции проекта Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия»

1. Основание для разработки Изменения № 1

Обращение НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус», Россия, одного из крупнейших производителей бумаги для офисной техники, с просьбой о включении в действующий ГОСТ Р 57641-2017 новой марки бумаги ксерографической, изготавливаемой без применения оптически отбеливающего вещества. Обращение связано с санкционной политикой к РФ в части прекращения поставок химиката импортного производства, необходимого для отбеливания целлюлозы.

Обращение рассмотрено Росстандартом и принято решение о включении данной работы в план Национальной стандартизации на 2022 год (шифр: 1.6.157-1.029.22) с финансированием за счет средств НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус».

2. Краткая характеристика разрабатываемого проекта Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017

В проекте Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия» предусматривается введение в раздел 3 (Технические требования) п. 3.1 (Характеристики) следующие изменения и дополнения:

- введен термин «целлюлоза частично беленая» и его определение;
- в части возможности изготовления бумаги форматом А4 с отверстиями для подшивки при согласовании изготовителя с потребителями;
- увеличение количества изготавливаемых марок бумаги ксерографической с трех до четырех с введением новой марки «Сэ» с областью применения в соответствии с действующей редакцией ГОСТ Р 57641-2017;

- таблица 1 п.п.3.1.8 предлагается в новой редакции с корректировкой некоторых показателей качества и с введением показателей для новой марки «Сэ»;
- дополнение п.п.3.1.9 характеристикой новой марки «Сэ» в части изготовления без оптически отбеливающего вещества;
- дополнение в примере условного обозначения с введением обозначения «толщины»;
- п.п.3.2.1 дополняется новым видом применяемого волокнистого полуфабриката – «целлюлоза сульфатная частично беленая из лиственной древесины» для новой марки «Сэ».

3. Технико-экономическая и социальная эффективность от применения Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017

Расширение ассортимента бумаги ксерографической для офисной техники для потребителя. Улучшение экологической составляющей технологического процесса в связи с отказом от применения оптически отбеливающего реагента.

4. Сведения о соответствии проекта Изменения № 1 Требованиям технических регламентов Евразийского экономического союза

Бумага ксерографическая для офисной техники не является объектом стандартизации для действующих Технических регламентов.

5. Положения, отличающиеся от положений соответствующих международных стандартов

В проекте Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 не затрагивается взаимосвязь с международными стандартами и стандартами региональных организаций.

6. Перечень источников информации, используемых при разработке Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017

При разработке проекта Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 были использованы данные действующих технических условий ТУ 17.12.14-001-00253497-2022 «Бумага для офисной техники из «полубеленой целлюлозы»,

разработанные специалистами НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус», статистические данные по показателям качества выпущенных промышленных партий бумаги из частично беленой целлюлозы, а также результаты испытаний аккредитованного Испытательного центра Ассоциации «БУМИКС» (аттестат № RA.RU.21ДМ11). Использована информация из поступивших отзывов от членов ТК 157 на проект «первой редакции» Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017, полученных в ходе публичного обсуждения с внесением изменений в проект «окончательной редакции» Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017.

7. Сведения о проведении публичного обсуждения и краткая характеристика полученных отзывов

По проекту стандарта на сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в установленном порядке опубликовано уведомление о начале разработки проекта стандарта – 21.06.2022 г. Дата начала публичного обсуждения – 22.06.2022, дата завершения – 22.08.2022.

Необходимый срок публичного обсуждения проекта стандарта в Российской Федерации соблюден.

Первая редакция настоящего стандарта рассылалась для обсуждения членам ТК 157. По результатам публичного обсуждения от членов ТК 157 и заинтересованных лиц получено 6 (шесть) отзывов от АО «Кондопожский ЦБК», ООО «БЕЛЛА Восток», ФГАУ НМИЦ здоровья детей Минздрава России, АО «Соликамскбумпром», АО «Монди СЛПК», НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус».

Анализ отзывов свидетельствует: из полученных замечаний и предложений от членов ТК 157 разработчиком принято 6 (шесть), отклонено 3 (три).

В соответствии с принятыми замечаниями и предложениями в проект «окончательной редакции «Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017» внесены следующие изменения:

- п. 3.1.8 Показатели качества. Таблица. Требование к белизне.

Разделены требования к белизне по СIE, определяемой по ГОСТ Р ИСО 11475 и к белизне, определяемой по ГОСТ 30113.

- Указана единица измерения в допускаемом отклонении - %

- п. 3.1.8 Показатели качества. Таблица. Требования к толщине.

Установлена норма для толщины бумаги марки С массой 72-79 г/м² «не менее 95 мкм».

- п. 3.1.17 Пример условного обозначения.

Дан пример условного обозначения для марки С в редакции: «бумага ксерографическая для офисной техники марки С толщиной 95 мкм:

Бумага офисная С-95 ГОСТ Р 57641-2017»

- п. 3.2.1 Требования к сырью, химикатам и материалам.

Дополнено абзацем и изложено в следующей редакции: «целлюлоза сульфатная частично беленая из лиственной древесины».

Изменение наименования целлюлозы в окончательной редакции Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 с «небеленой» на «частично беленую из лиственной древесины» связано с особенностями технологического процесса, применяемого при производстве новой марки бумаги Сэ, вводимой в ГОСТ Р 57641-2017.

Это соответствует технологии получения нового волокнистого полуфабриката, получаемого без применения оптически отбеливающего вещества импортного производства.

В связи с изложенным Ассоциация «БУМИКС» - разработчик Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 считает целесообразным принять предложение глобальной

компании по производству бумаг - НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус» по введению в стандарт нового термина «целлюлоза частично беленая».

В проект Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 «окончательная редакция» введен раздел «2а Термины и определения» с разъяснением примененного не стандартизованного термина «целлюлоза частично беленая».

Три предложения членов ТК 157 при рассмотрении были отклонены, в частности:

- предложение АО «Монди СЛПК» о снижении номинального значения толщины для марки С массой 80-82 г/м² до 100 мкм, так как предлагаемые в «первой редакции» Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 допускаемые отклонения по толщине от ±2 до ±4 позволяют достигать номинальное значение толщины для бумаги марки С массой 80-82 г/м² не менее 100 мкм. Кроме того, возможности варьирования композиционным составом и с учетом особенностей работы БДМ разных производителей, позволяют получать бумагу марки С массой 80-82 г/м² с нормами толщины, предлагаемой как в действующей редакции ГОСТ Р 57647-2017, так и в редакции Изменения № 1.

- предложение АО «Монди СЛПК» по снижению нижнего предела показателя шероховатость со 150мл/мин до 120мл/мин для бумаги марки В отклонено. Недостаточно статистических данных от производителей ксерографической бумаги для офисной техники для замены уровня нормы по показателю шероховатость для бумаги марки В.

- предложение АО «Соликамскбумпром» по изменению нормирования показателя белизны для марки Сэ с указанием «не менее 60% отклонено, так как нормирование в такой редакции не подтверждается статистическими данными предприятия- изготовителя НПАО «Сильвамо Корпорейшн Рус»;

- предложение АО «Соликамскбумпром» об обозначении применяемой нормативной ссылки в части указания года принятия стандарта.

8. Организация-разработчик проекта Изменения № 1 к ГОСТ Р 57641-2017

Контактные данные:

Руководитель разработки: Киселева Жаннета Николаевна - директор Ассоциации «БУМИКС»

тел. 8(812)297-43-77; email: tbk.bumiks@yandex.ru;

Исполнитель: Жохова Ольга Игоревна – ведущий инженер Ассоциации «БУМИКС»

Руководитель разработки

Киселева Ж.Н.



**МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНПРОМТОРГ РОССИИ)**

Пресненская наб., д. 10, стр. 2, Москва, 125039

Тел. (495) 539-21-66

Факс (495) 547-87-83

<http://www.minpromtorg.gov.ru>

25.03.2024 № 29715/08

На № _____ от _____

По списку рассылки

Департамент легкой промышленности и лесопромышленного комплекса Минпромторга России сообщает, что по итогам совещания по вопросам развития лесопромышленного комплекса Российской Федерации, проведенного Президентом Российской Федерации 10 февраля 2023 г., дано поручение о внесении в каталог товаров, работ, услуг для обеспечения государственных нужд изменений, предусматривающих возможность закупок небеленой офисной бумаги (перечень поручений Президента Российской Федерации от 22 марта 2023 г. № Пр-562 часть девятая подпункта «в» пункта 1).

Данный вопрос проработан федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации.

Так, приказом Росстандарта от 18 ноября 2022 г. № 1320ст утверждено изменение в ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для офисной техники. Общие технические условия», предусматривающее добавление офисной бумаги новой марки «Сэ», произведенной с использованием частично беленой целлюлозы.

Вместе с тем 8 июня 2023 года офисная бумага марки «Сэ» внесена в каталог товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд.

Необходимо отметить, что в Российской Федерации производство бумаги марки «Сэ» для офисной техники впервые запущено в марте 2022 г.

В настоящее время такая бумага производится в промышленном масштабе – достаточном для удовлетворения спроса в полном объеме.

Дополнительно отмечаем, что бумага марки «Сэ» имеет характерный светло-бежевый цвет с уровнем белизны 60% (ISO) и обладает всеми необходимыми характеристиками для обеспечения качественной цветной и черно-белой печати.

Рассматриваемый вид бумаги производится без использования отбеливающих химикатов (на основе хлора и оптических отбеливателей), благодаря чему снижается негативное воздействие на окружающую среду (подробнее – в Приложении № 1).

В данной связи Минпромторг России поддерживает использование производимой в Российской Федерации офисной бумаги марки «Сэ» государственными организациями и госкорпорациями и рекомендует ее для закупки и использования для государственных и муниципальных нужд.

Приложение: на 1 л.

Директор Департамента
легкой промышленности
и лесопромышленного комплекса

В.Г. Хмырова

Подлинник электронного документа, подписанного ЭП,
хранится в системе электронного документооборота
Минпромторга России.

СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП

Сертификат: 0090D562993DD996D767058C07DC6902F1
Кому выдан: Хмырова Вера Геннадьевна
Действителен: с 22.05.2023 до 14.08.2024

Экологические преимущества частично блененой целлюлозы перед блененой целлюлозой



При этом бумага марки «Сэ» сохраняет все физико-механические и печатные свойства. Бумага, произведенная без применения хлора, проходит сертификацию и имеет право на маркировку своей продукции знаком «свободен от хлора»