

**РЫБНИКОВ ОЛЕГ ВАЛЕНТИНОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОФИСНОЙ БУМАГИ ИЗ  
ЧАСТИЧНО БЕЛЁНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

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

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт–Петербург – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» на кафедре технологии целлюлозы и композиционных материалов.

Научный руководитель: **Аким Эдуард Львович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозы и композиционных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Официальные оппоненты: **Вураско Алеся Валерьевна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

**Варанкина Галина Степановна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится «12» декабря 2024 г. в 14 часов 30 минут на заседании Диссертационного Совета 24.2.385.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4, зал заседаний Учёного совета, А-233.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 198095, г. СПб, ул. Ивана Черных, 4, и на сайте <https://sutd.ru/nauka/dissertacii/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 198095 Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.4. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты, наименование организации, должность лица с указанием структурного подразделения, представившего отзыв (п. 28).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, д.т.н.

Махотина Людмила Герцевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Офисная бумага представляет собой высокотехнологичные целлюлозные композиты информационного назначения с достаточно сложной структурой и высокой ценой. В России в 2020 г. объем потребления офисной бумаги составил 464 тыс. тонн, 3,3 кг/год на человека.

На Светогорском ЦБК производится 40% общероссийского объема офисной бумаги на бумагоделательной машине (БДМ) №4: сорт А; В и С под брендами «Светокопи» и «Балет» с Белизной ISO 92 – 95 %. Основными волокнистыми полуфабрикатами этих видов бумаги являются беленая листовая и хвойная целлюлоза, в марке С содержится, кроме целлюлозы, до 30% беленой химико-термомеханической массы (БХТММ).

На протяжении десятилетий экологические движения по всему миру требовали снизить белизну копировальной бумаги до уровня, необходимого и достаточного для того, чтобы она функционировала как средство хранения информации. Большинству пользователей этой бумаги подойдет существенно более низкий уровень белизны, так как жизненный цикл многих видов бюрократической документации (квитанции, счета, справки и т.д.) очень короткий, и чем дешевле они стоят, тем лучше. Чрезмерная белизна бумаги с оптическими отбеливателями даже вредна для глаз человека (по санитарным нормам белизна школьных тетрадей не должна превышать 80% по ISO). Стандарт белизны бумаги класса С в США до середины 2000-х годов составлял 84 %.

«Окно возможностей» для решения этой проблемы появилось на Светогорском ЦБК в 2022 году. 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 беленой 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 угрозой 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.

В связи с этим тема диссертационной работы – технология нового вида офисной бумаги с белизной - ISO 60-65% из частично белёной целлюлозы является весьма актуальной.

**Цель и задачи исследования.** Разработка технологии ассортимента нового вида офисной бумаги ЭКО с частично белёной, по технологии Total Chlorine Free (TCF), целлюлозой.

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 раздельной 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.

**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, опытнo-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.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** (литературном обзоре) дан анализ появления и развития технологии офисных видов бумаги, рассмотрены специфические особенности осины (тополя дрожащего) как одной из самых перспективных пород в мировом лесном комплексе, проанализированы свойства минеральных наполнителей, способы получения и их влияние на качество бумаги.

Развитие новых технологий привело к появлению компьютеров и принтеров; появился и новый класс бумаги – «офисная бумага», в технологии которой использованы все достижения современной ЦБП, включая «химию мокрой части» - комплексные системы удержания, катионный крахмал, АКД и ASA.

В Светогорске на БДМ №4 производится в сутки свыше 1000 тонн офисной бумаги. В совершенствование качества, технологии и увеличение производительности БДМ в 90-е и 2000-е годы было вложено около 100 млн. долл. Кроме того, были созданы производства БХТММ и осаждённого карбоната кальция.

В литературном обзоре рассмотрены также особенности осины и тополя, как одних из самых перспективных пород в мировом лесном комплексе. Проанализированы перспективы использования минеральных наполнителей для бумаги, способы их получения и их влияние на свойства бумаги. Наполнитель для офисной бумаги должен обладать высокой белизной и обеспечивать высокую непрозрачность - этим требованиям хорошо соответствует РСС с белизной не менее 93%, с кристаллами скаленоэдрической формы и заданным размером частиц.

**Во второй главе** (методическая часть) описаны объекты и методы исследования. Объектами исследования являлись образцы небелёной, 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.

Для совместной и раздельной варки осиновой и березовой щепы использовалась автоматизированная пилотная установка. Для определения морфологических характеристик волокнистых полуфабрикатов использовался анализатор волокна Morfi Compact. В процессе измерения образец волокнистой суспензии пропускается через оптическую ячейку, позволяющую получить изображение волокон с высоким разрешением. Оптическая разрешающая способность составляет 10 мкм, рабочая - 4 мкм. Метод позволяет определять морфологические характеристики, от которых зависят бумагообразующие свойства. Для первичного волокна наиболее показательными являются: средневзвешенная длина, ширина, индекс фибрилляции, содержание мелкого волокна (менее 0,2 мм).

Промышленный эксперимент проводился на БДМ №4, обрезная ширина 8500 мм, скорость до 1200 м/мин; при производстве бумаги массой 80 г/м<sup>2</sup>, с поверхностной двусторонней проклейкой 2-4 г/м<sup>2</sup>, с последующей резкой на листорезательных машинах на формат А4.

**В третьей главе** приведено обоснование выбора направления работы и постановки задачи исследования. Проведен анализ технологических схем и рассмотрена возможность производства офисной бумаги ЭКО с использованием частично белёной целлюлозы, осиновой БХТММ и минерального наполнителя в условиях изменения критериев оптимизации – от минимизации сроков реализации к максимальной загрузке всех технологических потоков.

**В четвертой главе** (экспериментальная часть) описываются результаты исследований и их обсуждение. Стандартная офисная бумага марки С в композиции по волокну содержит 30% беленой хвойной целлюлозы (БХЦ), 40% беленой лиственной целлюлозы (БЛЦ), 30 % БХТММ. Идея создания бумаги сорта ЭКО заключается в использовании только частично белёной целлюлозы и, прежде всего,

лиственной, которая из-за меньшего содержания лигнина после варки и промывки имеет более высокую белизну, чем хвойная. Применение в процессе отбели ступени щелочения с кислородом и перекисью водорода (EOP), т.е. фактический переход к отбелике TCF, позволит добиться заданной белизны (Рис. 1).

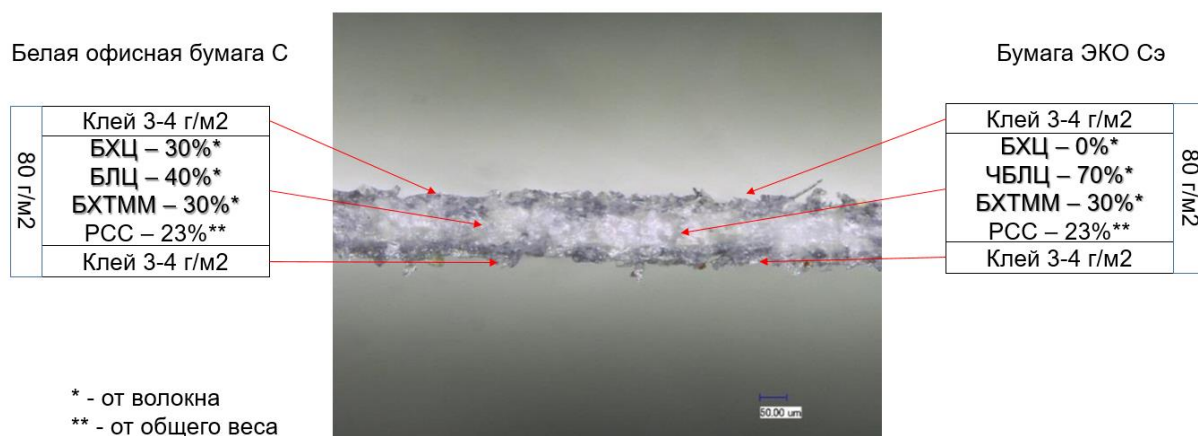


Рисунок 1 – Структура офисной бумаги

**Экспериментальные варки** лиственной целлюлозы проводили по рецептуре технологического регламента Светогорского ЦБК. Анализ полученных данных (таблица 1) показал, что осиновая щепка проваривается глубже, чем берёзовая - разница 6 единиц Каппа. Поэтому в промышленных условиях именно глубже проваренная осиновая щепка даст больший прирост белизны на стадии кислородно-щелочной отбелики (КЩО), после чего частично белёная масса промывается на прессе. Промытая частично белёная масса поступает на хранение в башню высокой концентрации, а затем проходит дополнительную промывку в линии доделки целлюлозы двуокисью хлора (при нулевом расходе двуокиси).

Таблица 1 – Свойства целлюлозы, полученной при варках на пилотной установке

Свойства целлюлозы	Вид древесины на варку		
	Осина 15% Береза 85 %	Осина 100 %	Береза 100 %
Жесткость, ед. Каппа	17,5±0,5	11,65±0,35	17,6±0,7
Содержание лигнина, %	2,62	1,75	2,64
Водоудержание по Джайме, %	520±5	162±15	700 ±18
Длина волокна, мм	0,840±0,030	0,790±0,040	0,885±0,013
Ширина волокна, 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

Основная проблема получения бумаги без использования хвойного волокна заключается в снижении прочностных свойств, что может 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 на БДМ имело крайне низкую прочность, увеличивалось количество обрывов, возникали трудности с заправкой.

Представленные в таблице 2 результаты исследования морфологии волокнистых полуфабрикатов, проведенные при получении на производстве

офисной бумаги, показали, что волокно в напорном ящике БДМ имеет среднюю длину значительно меньше, чем у хвойной целлюлозы, но близкую к лиственной целлюлозе и БХТММ. Это позволило предположить, что, если исключить излишнее укорочение волокна при размоле, то можно сохранить прочность формуемого полотна бумаги. В тоже время масса при производстве бумаги ЭКО содержит большое количество мелочи, обусловленной прежде всего БХТММ. Это даёт основания полагать, что мелочь, совместно с наполнителем, принимает участие в формировании структуры бумажного листа на БДМ. В таком случае исключение из композиции хвойной целлюлозы, которая отбеливается сложнее (белизна ISO 25-28%), чем лиственная, не приведёт к остановке производства офисной бумаги.

Таблица 2 – Морфологические и электрокинетические свойства волокнистых полуфабрикатов Светогорского ЦБК

Волокнистые полуфабрикаты	Средне взвешенная длина, мм	Ширина, мкм	Мелочь, % по площади	Катионная потребность, Мг-экв/л
Белёная хвойная целлюлоза	2,1	31	3,3	- 43
Масса из напорного ящика (бумага офисная марки С)	1,2	25	18,7	- 45
Лиственная белёная целлюлоза	1,9	21	5,2	- 53
БХТММ из осины	0,9	-	20,1	- 248
Масса из напорного ящика (бумага офисная ЭКО)	1,1	24	23,6	- 42

**Промышленные испытания.** Экспериментальные исследования, проведенные в процессе опытно-промышленного производства бумаги ЭКО, показали, что частично белёная целлюлоза, получаемая по технологии TCF, обладает свойствами, аналогичными белёной целлюлозе ECF, обычно применяемой при производстве офисной бумаги. Это позволяет использовать существующие системы проклейки и удержания, обеспечивает на БДМ №4 неизменность «химии мокрой части» при производстве всех видов офисной бумаги, возможность сохранения технологических режимов отлива и поверхностной проклейки. С другой стороны, **частично белёное лиственное волокно**, не подвергавшееся делигнификации при отбелке, но прошедшее более глубокую делигнификацию при варке до Каппа 10-12, имеет достаточные прочностные показатели для доведения бумаги до наката и её переработки в листы и пачки (Табл. 3).

Для повышения бумагообразующих свойств возникает необходимость изменения схемы размола, чтобы исключить излишнее укорочение волокна. Была произведена модернизация с целью возможности подачи частично белёной лиственной целлюлозы и по хвойному потоку. Для этого часть потока лиственной целлюлозы была переведена на хвойный сгуститель для заполнения башни хранения и, далее, дозировка лиственной целлюлозы на БДМ по потоку хвойной целлюлозы. При выработке сорта ЭКО лиственное волокно всегда прорабатывается на 3-х мельницах по двум потокам: - использование двух мельниц на «хвойном» потоке и



одной мельницы на листовном потоке; либо использование одной мельницы на «хвойном» потоке и двух мельниц на листовном потоке. Домальвающие мельницы работают на минимальных нагрузках (по 5 кВт), как при выработке сорта «С», так и сорта ЭКО; это обусловлено высокой дозировкой БХТММ и низкой воздухопроницаемостью. Градус помола в напорном ящике сорта ЭКО составляет 27-29 °ШР, ниже на 2-3 градуса, чем на сорте марки С (Рис. 2). Расход энергии на размол сокращен на 25-30%.

Таблица 3 – Свойства белёной и частично белёной целлюлозы

Показатели качества	Целлюлоза листовная	
	Белёная	Частично белёная
	Среднее значение измерений за 12 месяцев	
После варки		
Динамическая вязкость, мПа*с	142	142
Степень помола, °ШР	70	70
Разрывная длина, м	11200	11200
Сопротивление раздиранию, мН	603	603
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	1,88	1,88
Белизна-ISO после КЦО, %	35,8	35,4
После отбелки		
Динамическая вязкость, мПа*с	71	80
Степень помола, °ШР	73	73
Разрывная длина, м	9733	10250
Сопротивление раздиранию, мН	658	620
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	1,72	1,7
Белизна-ISO, %	84,4	40,2

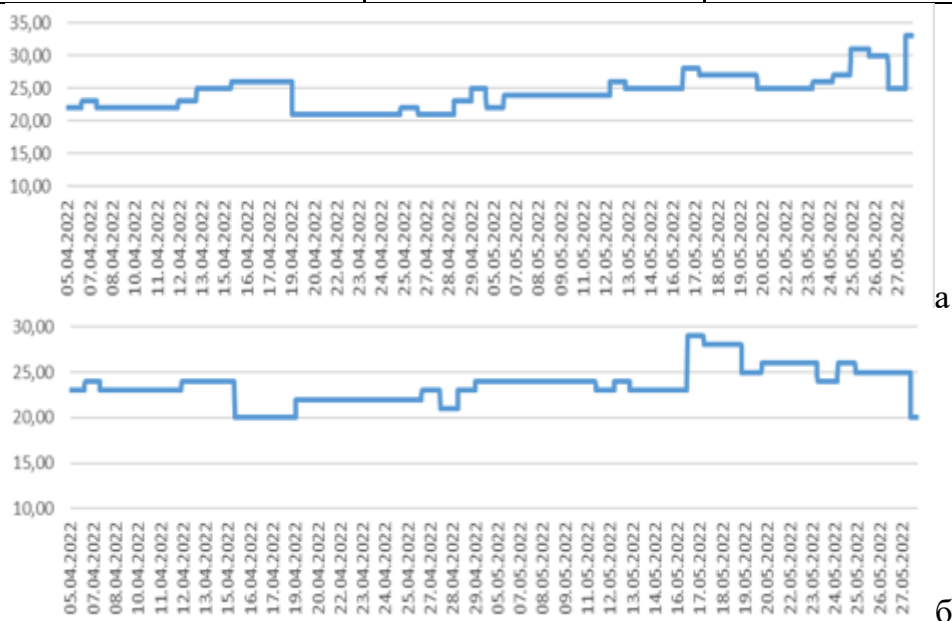
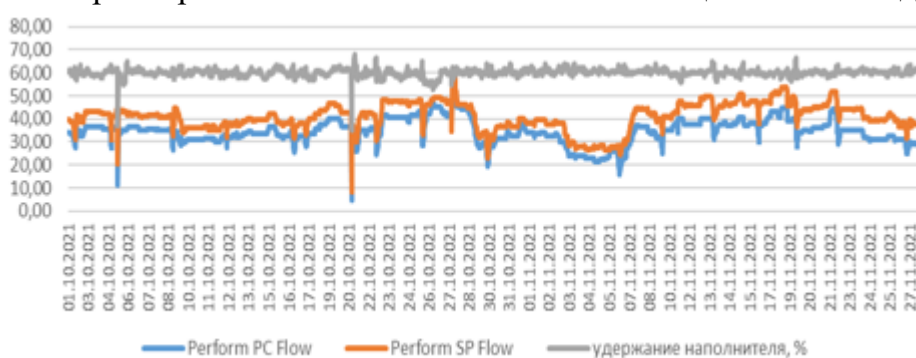
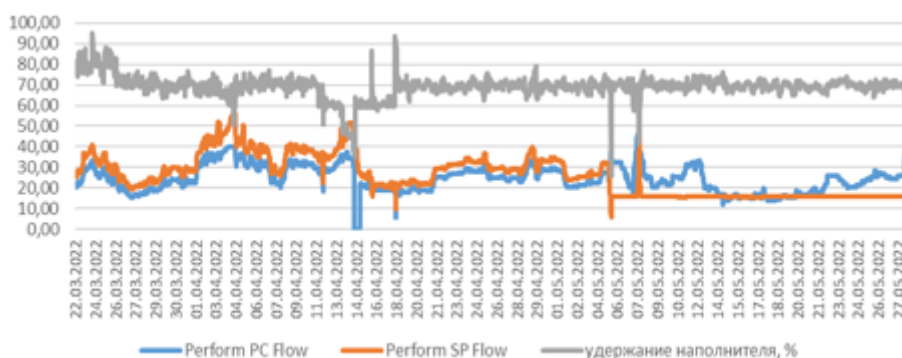


Рисунок 2 – Изменение градуса помола (°ШР) при производстве бумаги ЭКО при подаче частично белёной листовной целлюлозы по хвойному (а) и листовному (б) потокам

При производстве офисной бумаги в качестве наполнителя используют РСС с белизной не менее 93% и средним размером частиц 1,6–2,8 мкм. Для удержания наполнителя и мелкого волокна используют многокомпонентную систему с анионными микрочастицами. Использование РСС при выработке бумаги марки ЭКО показало, что увеличение и снижение зольности влияет на механическую прочность. При зольности 23% расходы удерживающих веществ пришлось увеличить в два раза. При снижении зольности до 21 % расходы химикатов снизились практически в два раза, при этом, в результате эксперимента выяснилось, что степень удержания наполнителя на формующем столе при использовании частично белёной лиственной целлюлозы составила 65–70 %, в то время, как при той же дозировке химикатов для удержания, при работе на белёной целлюлозе она составляла 50–60 %. Таким образом, первоначальная гипотеза о морфологии, электрокинетических свойствах и прочностных параметрах частично беленой лиственной целлюлозы подтвердилась.



а



б

Рисунок 3 – Расход удерживающих веществ при производстве бумаги марки С(а), ЭКО (б)

Таблица 4 – Расход удерживающих веществ при производстве бумаги марки С и ЭКО

Наименование	Сорт С (25-30% ХТММ)	Сорт ЭКО (без хвойной целлюлозы)
Расход Perform PC (катионный полиакриламид), л/мин	42,8	27,3
Расход Perform SP (анионный микрополимер), л/мин	37,9	24,2
Удержание наполнителя, %	48,8	64,4
Концентрация в напорном ящике, %	1,1	1,0
Концентрация оборотной воды, %	0,2	0,1

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%.

Для офисной бумаги большое значение имеют печатные свойства и, в частности впитываемость при «канцелярской печати» (на струйных и лазерных принтерах, чернил и краски). Заданная впитываемость (степень гидрофобности) обеспечивается при внутримассной проклейке.

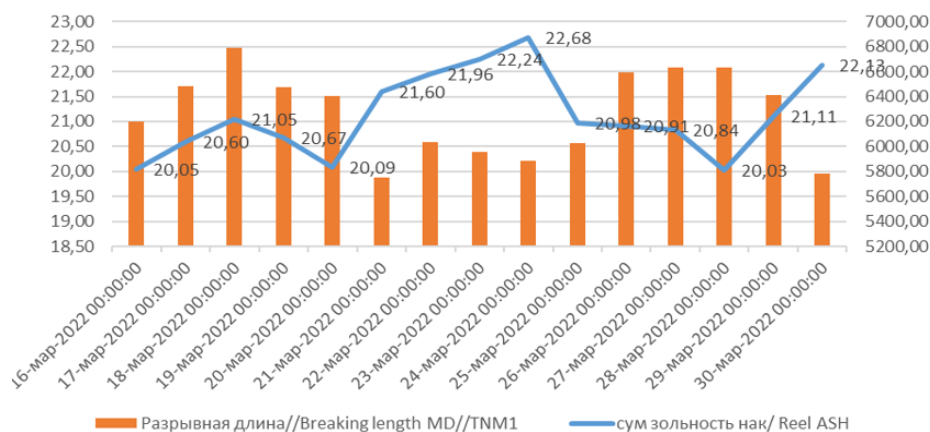


Рисунок 4 – Изменение разрывной длины и зольности бумаги марки ЭКО в период опытно-промышленной выработки в марте 2022 года

Внутримассная проклейка на БДМ №4 проводится с использованием синтетического клея на основе димеров алкилкетена (АКД). При проведении опытно-промышленной выработки бумаги марки ЭКО дозировка АКД была снижена (Рис. 5) для достижения значения впитываемости по Кобб<sub>60</sub> 30-35 г/м<sup>2</sup>, т.к. при стандартных значениях Кобб<sub>60</sub> 20-25 г/м<sup>2</sup>, как для марки «С», происходит «размазывание» канцелярской печати.



Рисунок 5 – Зависимость впитываемости от расхода АКД для марки ЭКО:  
1- Кобб<sub>60</sub>; 2- расход АКД

Поверхностная проклейка на пленочном прессе проводится для повышения прочности поверхности (снижение пылимости), повышения оптической плотности, резкости и контрастности отпечатка. Для поверхностной проклейки используется композиция на основе окисленного крахмала. Для точной регулировки белизны бумаги в клей подается оптический отбеливатель, CaCl<sub>2</sub> для снижения образования

статического электричества, насыщенного цвета и быстрого высыхания. На марке ЭКО дозировка  $\text{CaCl}_2$  увеличена с 5 до 10 л/мин для улучшения печатных свойств (Рис. 6), поскольку цветопередача на бумаге ЭКО, при определенных видах цветной печати, может быть несколько хуже.

Проведенные исследования, результаты опытно-промышленной и промышленной выработок позволили перевести БДМ №4 Светогорского ЦБК на серийное производство нового вида бумаги марки ЭКО, с соответствующим дополнением действующих стандартов. В 2022 г. выпущено 100 тыс. т офисной бумаги марки ЭКО.



Рисунок 6 – Расход  $\text{CaCl}_2$  л/мин при поверхностной проклейке бумаги марки ЭКО

Сопоставление состава по волокну показывает, что в бумаге марки С на 30% БХТММ и 40% лиственной целлюлозы приходится 30% хвойной целлюлозы, которая полностью заменена на лиственную частично беленую целлюлозу в бумаге ЭКО. При этом содержание РСС в бумаге ЭКО снижено до 19-21% (Табл. 5).

Таблица 5 – Композиционный состав офисной бумаги, производимой на Светогорском ЦБК

Марки офисной бумаги	А	В	С	ЭКО	ЭКО2
Компоненты					
Лиственная белёная целлюлоза (ЕСF), %	65	60	55	0	0
Лиственная частично белёная целлюлоза (ТСF), %	0	0	0	70	40
Хвойная белёная целлюлоза (ЕСF), %	32	30	35	0	0
Хвойная частично белёная целлюлоза (ТСF), %	0	0	0	0	30
БХТММ%	3,0	10,0	30,0	30,0	30,0
РСС, %	23	23	22	20-22	20-22
Скорость БДМ, м/мин	1250	1250	1250	900	1250
Производительность БДМ, т/час	51	51	50	38	50

Статистический анализ большой выборки лабораторных данных при опытно-промышленной выработке 50 тыс. тонн бумаги ЭКО показал, что разработанная технология позволяет достигать белизны ISO 65 % (Рис.7). Использование частично беленой лиственной целлюлозы и увеличение доли БХТММ дало прирост толщины до 106 мкм при тех же нагрузках на прессах и каландре, при одновременном снижении базового веса бумаги ЭКО 79,0 против 79,5 г/м<sup>2</sup> за счет большей пухлости

(Рис.7). Бумага ЭКО показала на 3–4 % увеличение непрозрачности листа до 97,5 % за счет более пухлой и, в тоже время, плотной структуры листа (Рис. 8).

Частично белёная целлюлоза, не подвергнутая отбелке диоксидом хлора, показала хорошее формование и удержание. Снизилось удельное потребление удерживающих химикатов на мокрой части и проклейке. За счет пухлости удалось достичь улучшения шероховатости и разносторонности, увеличив нагрузку на машинном каландре. Жёсткость в машинном и поперечном направлении увеличилась и в сумме значительно выше минимально допустимой (Рис.9).

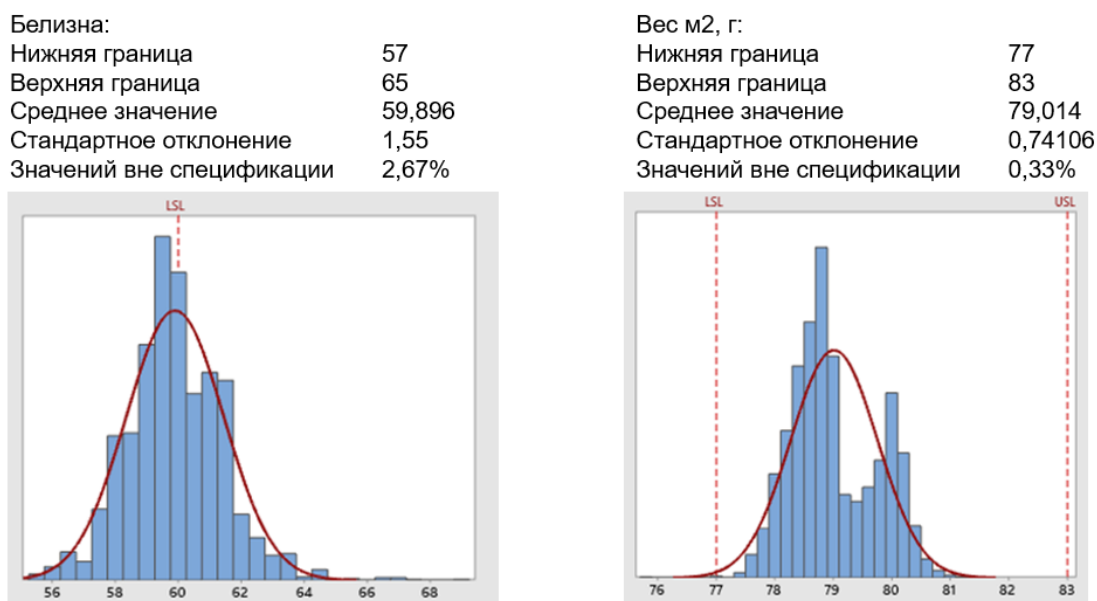


Рисунок 7 – Статистический анализ значений «белизна», «вес м<sup>2</sup>»

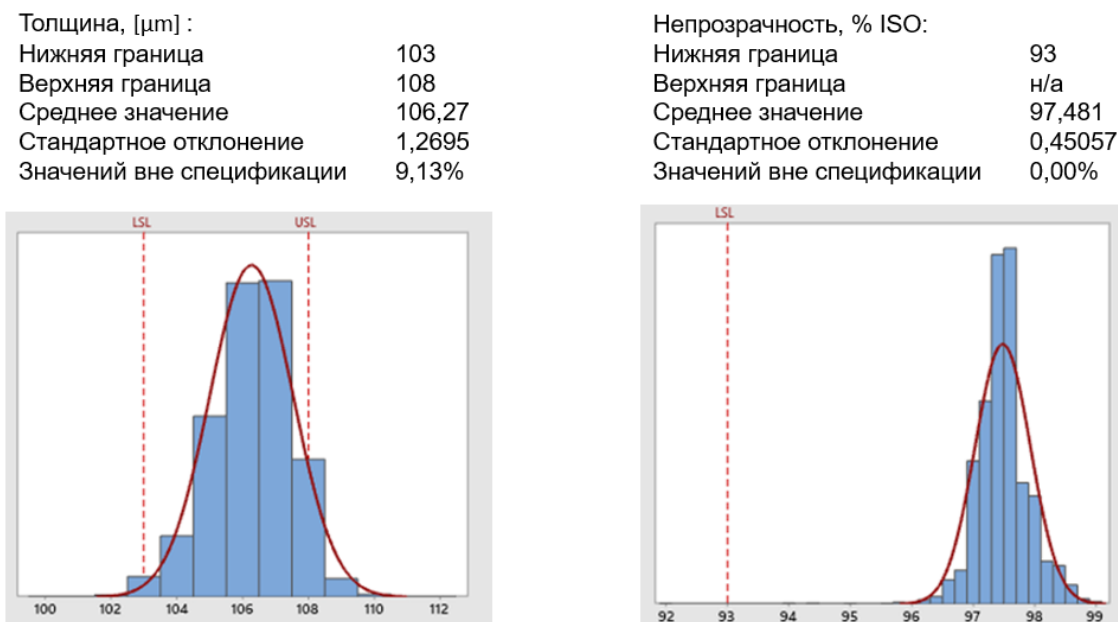


Рисунок 8 – Статистический анализ значений «толщина», «непрозрачность»

Однако, из-за недостатка производительности линий волокнистых полуфабрикатов, БДМ №4 при производстве бумаги ЭКО не могла работать на

полную мощность. Поэтому была разработана и реализована в промышленном масштабе технология с использованием частично белёной хвойной целлюлозы - для отбеливания хвойной целлюлозы перекисью водорода, и синтезирована новая технологическая схема для производства бумаги ЭКО2 с применением хвойной целлюлозы, прошедшей отбеливание TCF на потоке БХТММ с последующей аэрофонтанной сушкой. Такая схема была реализована в 2023 году, в котором было выпущено около 50 тысяч тонн офисной бумаги ЭКО2. Таким образом, переход к производству офисной бумаги ЭКО2 позволил производить её на максимальной скорости, задействовав все полуфабрикатные потоки ЦБК. Для новых продуктов разработано Изменение № 1 к ГОСТ Р 57641-2017 «Бумага ксерографическая для оргтехники. Общая спецификация»; утверждено приказом Росстандарта от 18.11.2022 г. № 1320ст.

Жесткость (mN) в поперечном направлении:  
 Нижняя граница (LSL) 45  
 Среднее значение 54,525  
 Стандартное отклонение 3,5091  
 Значений вне спецификации 0,33%

Жесткость (mN) в машинном направлении:  
 Нижняя граница (LSL) 105  
 Среднее значение 125,36  
 Стандартное отклонение 8,56  
 Значений вне спецификации 0,87%

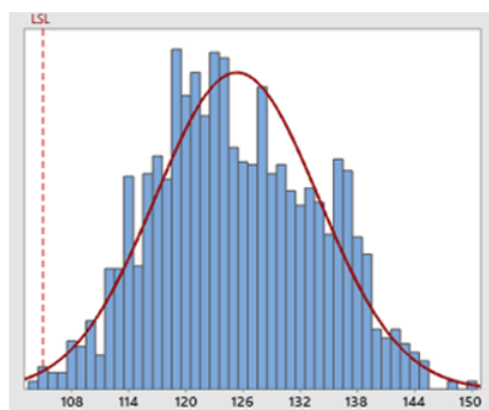
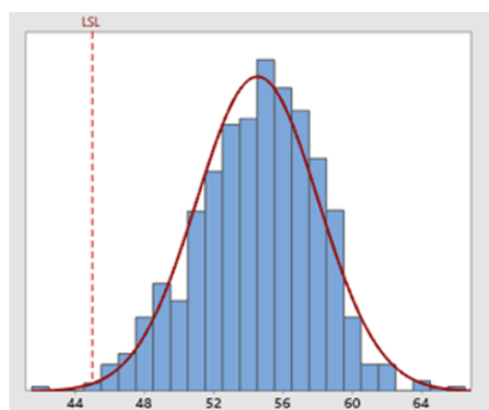


Рисунок 9 – Статистический анализ значений «жесткость»

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 ЭКО означает переход к производству продукции TCF 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 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. Углеродный след нового вида офисной бумаги – бумаги ЭКО примерно в 1,2-1,5 раз ниже, чем у бумаги офисной марок «А» и «В».



### **Выводы по диссертационной работе**

1. Разработана технология ассортимента офисной бумаги ЭКО с использованием смеси частично белёной целлюлозы, БХТММ и наполнителя – осажденного карбоната кальция.
2. На основании проведенных лабораторных и промышленных варок показана возможность получения частично беленой целлюлозы из лиственной древесины, использование которой обеспечивает необходимые и достаточные физико-механические, оптические и печатные свойства офисной бумаги ЭКО.
3. Исследование морфологии волокна показало, что наличие мелочи в частично беленой целлюлозе и БХТММ в сочетании с осажденным карбонатом кальция и системой удержания с анионными микрочастицами, обеспечивает получение бумаги с высоким качеством формования и достаточными для офисной бумаги физико-механическими и прочностными свойствами.
4. Уменьшенный «углеродный след» офисной бумаги марки ЭКО и ЭКО2 обеспечивается за счет расширения использования осинового сырья, перехода от отбелки ЕСФ к отбелке ТСФ, снижения расхода воды, энергии и реагентов.
5. В 2022 г. на Светогорском ЦБК выпущено 100 тысяч тонн офисной бумаги марки ЭКО, а в 2023 г. – около 50 тысяч тонн бумаги ЭКО2. Постановка на производство ассортимента бумаги ЭКО позволила создать на рынке кластер дешёвой экологичной бумаги, завоевавшей самостоятельный сектор, и обеспечила технологический суверенитет страны.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus*

1. Рыбников О.В., Бондаренко Н.П., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного предприятия ЦБП. // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. Стр. 63-68.
2. Аким Э.Л., Бучельникова Я.В., Молотков Л.К., Коваленко М.В., Мандре Ю.Г., Заяц Ю.Н., Сергеев А.Д., Рыбников О.В., Рассказова Н.Я. Биорефайнинг осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. Стр. 26-31.
3. Аким Э.Л., Бучельникова Я.В., Молотков Л.К., Коваленко М.В., Мандре Ю.Г., Заяц Ю.Н., Сергеев А.Д., Рыбников О.В., Рассказова Н.Я. Плантационное выращивание тополя и развитие лесного сектора Китая // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 8. Стр. 63-68.
4. Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Пондарь С.И., Заяц Ю.Н., Сергеев А.Д., Коваленко М.В., Рыбников О.В. Сочетание периодической и непрерывной сульфатной варки как путь повышения конкурентоспособности интегрированного предприятия. // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 9. Стр. 20-27.
5. Аким Э.Л., Рыбников О.В., Федорова О.В., Таразанов А.А., Бобкова Е.А., Юрьева Ю.Т., Гришин А.А., Роговина С.З., Берлин А.А. Органоминеральные целлюлозные композиционные материалы информационного назначения (офисные виды бумаги). Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024.

- № 5, стр.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.
6. Епифанова М.А., Епифанов А.В., Рыбников О.В., Аким Э.Л. Балансовая схема расчета технологических показателей сброса при производстве интегрированным ЦБК бумаги, картона и ХТММ // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 335–351.
  7. Смирнова Е.Г., Мидукова М.А., Селезнев В.Н., Рыбников О.В., Аким Э.Л. Рециклинг бумаги «SVETOCOPY ЭКО». Химические волокна, 2024, №1, стр.12-17. Smirnova, E.G., Midukova, M.A., Seleznev, V.N. et al. Recycling Svetocopy Eco Paper. Fibre Chem (2024). <https://doi.org/10.1007/s10692-024-10506-1>
  8. Патент РФ 2 459 024. Аким Э.Л., Рыбников О. В., Мандре Ю. Г. и др. «СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ЗАРАЖЕННЫХ ГНИЛЬЮ БАЛАНСОВ».  
*Статьи в других источниках*
  9. 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.
  10. Аким Э.Л., Рыбников О.В., Пекарец А.А., Федорова О.В., Махотина Л.Г., Луканин П.В., Роговина С.З., Берлин А.А. Инновационные технологии биорефайнинга лиственницы и осины как важные шаги на пути к углеродной нейтральности российского ЛПК. / В книге: «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. имени профессора В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сентября 2023 г.) / Архангельск: САФУ, 2023. – 406 с. ISBN 978-5-261-01688-5; стр. 296-301.
  11. Таразанов А.А., Бобкова Е.А., Юрьева Ю.Т., Рыбников О.В., Аким Э.Л. Исследование влияния варки смеси березы и осины на морфологическую структуру и водоудержание волокна. / В книге: «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. имени профессора В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сентября 2023 г.) / Архангельск: САФУ, 2023. – 406 с. ISBN 978-5-261-01688-5; стр. 186-191.
  12. Аким Э.Л., Епифанов А.В., Фролов Г.Я., Рыбников О.В., Фирстова Н.Б. Механодеструкция и хемодеструкция лигнина при производстве БХТММ и сульфатной целлюлозы. Материалы X международной конференции «Физикохимия растительных полимеров». Стр. 86-90, изд-во САФУ, Архангельск, 2023, ISSN 978-5-261-01677-9