

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ, БУМАГИ, КАРТОНА

Анатолий Максимович Кряжев

Общество с ограниченной ответственностью «Техсервис»,
доктор технических наук

Ольга Владимировна Голуб

Федеральное государственное автономное учреждение
«Научно-исследовательский институт
«Центр экологической промышленной политики»

Александр Юрьевич Санжаровский

Федеральное государственное автономное учреждение
«Научно-исследовательский институт
«Центр экологической промышленной политики»,
кандидат технических наук

ВВЕДЕНИЕ

Под отдельным целлюлозным волокном в целлюлозно-бумажной промышленности подразумевают единичную клетку, выделенную из древесины. Клетки целлюлозы образуют древесную ткань, в которой они соединены межклеточным веществом (лигнином), и для ее разделения на отдельные волокна используют три способа: механический, комбинированный химико-механический и химический. Каждый волокнистый полуфабрикат, полученный этими способами, обладает присущими ему характерными физико-механическими свойствами и установленным уровнем выхода волокна из единицы перерабатываемого древесного сырья, что определяет потребительские свойства волокон и стоимость. В таблице 1 представлены способы производства волокнистых полуфабрикатов на предприятиях ЦБП России и их основные потребительские свойства.

Таблица 1. Классификация способов производства волокнистых полуфабрикатов, их выход из древесного сырья и физико-механические свойства

Механический	Комбинированный	Химический
Производство волокон за счет механической энергии	Производство волокон комбинацией химической и механической обработок	Производство волокон химической обработкой
Вид волокнистого полуфабриката и оптимальная порода древесного сырья		
ДДМ — дефибрерная древесная масса из коротких бревен древесины ели	НСПЦ — нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза из щепы древесины березы и осины	Сульфатная целлюлоза, полученная по щелочному способу варки щепы древесины хвойных и лиственных пород
РММ — рафинерная древесная масса из щепы древесины ели		
ТММ — термомеханическая масса из щепы древесины ели	Варка щепы с зеленым щелоком	Сульфитная целлюлоза, полученная по кислотному способу варки щепы, преимущественно древесины ели
ХТММ — химико-термомеханическая масса из щепы древесины ели и осины		
БХТММ — беленая химико-термомеханическая масса из щепы древесины ели и осины		

Таблица 1 (окончание)

Механический	Комбинированный	Химический
Выход волокнистого полуфабриката из древесного сырья		
Высокий выход (90–98 %)	Средний выход (55–90 %)	Низкий выход (40–55 %)
Свойства волокон и бумаги		
Волокнистая масса содержит значительное количество мелочи и волокон средних фракций, что приводит к низким механическим свойствам бумаги, но бумага обладает хорошими печатными свойствами. В массе содержится 100 % лигнина, который под воздействием солнечного света приводит к пожелтению бумаги. Поэтому бумага из древесной массы используется в продукции с коротким жизненным циклом (газеты, еженедельные издания и пр.)	Промежуточные размеры волокон между древесной массой и химической целлюлозой. Используется в производстве картона	Природная длина целлюлозного волокна сохраняется, что гарантирует высокие механические свойства бумаги. Низкое содержание лигнина ~ 0,2 % обеспечивает устойчивую белизну бумаги при солнечной радиации
Низкие механические свойства бумаги		Высокие механические свойства бумаги
Хорошие печатные свойства		Низкие печатные свойства

Отметим, что волокнистый полуфабрикат получают механической обработкой как из древесного сырья, так и макулатуры. Полуфабрикат из древесного сырья называют механической (древесной) массой высокого выхода (90–98 %), а из макулатуры — вторичным или регенерированным волокном с выходом 80–85 %. Полуфабрикат, производимый комбинацией химической и механической обработки, называют полуцеллюлозой, которая имеет промежуточный выход волокна 55–90 %. Волокнистый полуфабрикат, выход которого составляет 40–55 %, получается сульфитной или сульфатной варкой растительного сырья, и обозначается термином «техническая целлюлоза» (для отличия от целлюлозы, находящейся в древесине).

Разнообразие волокнистых полуфабрикатов необходимо, поскольку в производстве бумаги используют композицию различных волокон древесной массы и химической целлюлозы; для получения картона применяют полуцеллюлозу и химическую целлюлозу высокого выхода. Состав по волокну обеспечивает как требуемые потребительские свойства продукции, так и ее приемлемую стоимость на рынке.

Из древесного сырья производят первичные волокнистые полуфабрикаты, а из макулатурного сырья — вторичные волокна. Полученные на

целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК) первичные волокнистые полуфабрикаты передаются на собственное производство бумаги и картона (интегрированное производство) или поступают на рынок в виде товарных полуфабрикатов. Вторичные волокна в основном используются в собственном производстве бумаги, картона, а также для получения литой бумажной тары (упаковка для яиц, электроники, приборов и т. д.).

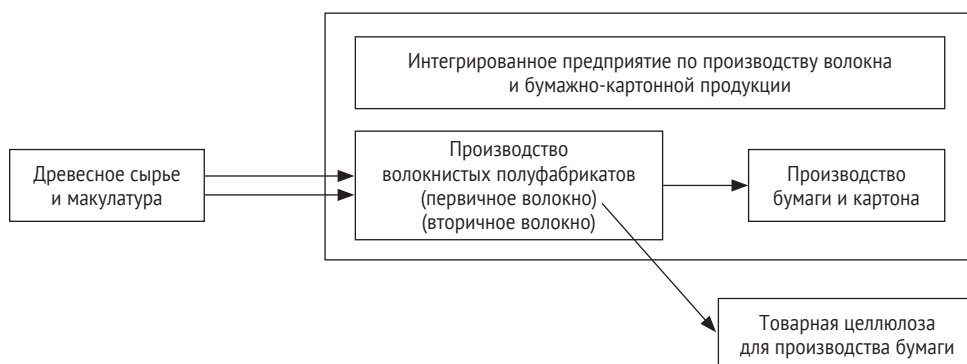


Рис. 1. Структура производства продукции в целлюлозно-бумажной промышленности России

В соответствии с ISO/CD 4046–4, «бумага» является общим термином для материалов в виде сплошного листа или полотна, получаемых осаждением растительных, минеральных, синтетических волокон или их смесей из жидких суспензий на соответствующих формующих устройствах с добавлением или без добавления других веществ. На эти материалы можно наносить покрытия, их можно пропитывать в процессе изготовления и по окончании его, при этом материалы не теряют своей тождественности бумаге. В классическом «мокро» процессе производства бумаги в качестве жидкости используется вода¹.

Отсутствует четкое различие между понятиями «бумага» и «картон».

Картон — это материал, также состоящий преимущественно из растительных волокон, отличающийся от бумаги большей толщиной и массой квадратного метра; под понятием «картон» условно принято считать материал, имеющий массу 1 м² от 80 до 275 г и толщину 0,2–5,0 мм. Тогда как бумага, например, формата А4 имеет массу 1 м² 80 г и толщину 0,1 мм. Поэтому правомерно в отдельных случаях выбирать термин с учетом свойств материала, области его применения или существующей традиции, а иногда термин «бумага» использовать для описания как бумаги, так и картона.

Классификацию бумаги и картона как в мировой, так и в отечественной практике проводят по различным признакам: целевому назначению, главному потребительскому свойству, особым характеристикам продукции, специфике

¹ Классификация видов бумаги и картона // Технология целлюлозно-бумажного производства : в 3 т. — Т. II, ч. 1. — СПб. : Политехника, 2003. — С. 7–8.

технологии ее получения, потребительскому спросу и т. д. Единая международная система классификации бумажной продукции еще не разработана.

В российских нормативных документах стандартная классификация бумаги приведена в ГОСТ 17586–80:

- бумага для печати: газетная, типографская, офсетная, для глубокой печати, мелованная, картографическая, документная, обложечная, афишная, билетная, этикеточная, для обоев, для игральные карт;
- бумага для письма, черчения и рисования: акварельная, бристолевая, бумажная натуральная калька, ватман, верже, для карточек, для почтовых документов, копировальная, машинописная, писчая для письма чернилами, почтовая, прозрачная чертежная, рисовальная, тетрадная, цветная писчая, чертежная;
- декоративная бумага: аэрографная, бархатная, крепированная декоративная, перламутровая, цветная глянцевая, шагреневая, для оклейки переплетов беловых изделий;
- электротехническая бумага: изоляционная, электроизоляционная (пропиточная, намоточная, асбестовая, бакелитизированная), кабельная (крепированная, водонепроницаемая, полупроводящая), телефонная, конденсаторная (для электролитических конденсаторов), для электроизоляционных трубок, оклейки электротехнической стали, электропроводящая, крепированная электротехническая, сепараторная;
- оберточная и упаковочная бумага: антикоррозионная, графитная, бандерольная, для упаковки продуктов на автоматах (чая, сахара, фруктов, стеклянной тары, мануфактуры), мешочная, крепированная упаковочная, парафинированная, для упаковки папирос и сигарет, прокладочная (для линолеума, для резиновой обуви), светонепроницаемая для кинофотоматериалов, жиронепроницаемая, биостойкая, битумированная, двухслойная упаковочная, оберточная, растительный пергамент, пергамин, подпергамент;
- светочувствительная и переходная бумага: диазотипная позитивная светочувствительная, светочувствительная диазотропная калька, белая переводная, автографская, гуммированная для переводных изображений;
- бумага для изготовления папирос и сигарет: курительная, мундштучная, фильтрующая мундштучная, папиросная, сигаретная;
- впитывающая бумага: для хроматографии и электрофореза, ионообменная для хроматографии и электрофореза, для капельного анализа, промокательная, фильтровальная, быстрофильтрующая, среднефильтрующая, медленнофильтрующая, лабораторная фильтровальная, для фильтрации растворов ацетилцеллюлозы, для фильтрации смазочно-охлаждающих жидкостей;
- промышленно-техническая бумага разного назначения: для окисно-ртутных элементов, для химических источников тока, каландровая, для патронирования, шпульная, шпагатная, для гофрирования, для копирования, биоцидная, бактерицидная, инсектицидная, фунгицидная, для мульчирования, трафаретная, абажурная, для фотоальбомов, для изделий бытового и санитарно-гигиенического назначения (гигиеническая, крепированная медицинская).

Стандартная классификация картона в ГОСТ 17926–80:

- тарный картон: гофрированный, для плоских слоев гофрирования, коробочный, термосвариваемый;
- картон для полиграфического производства: переплетный, цветной склеенный, для стереотипных матриц, билетный;
- фильтровальный картон: для фильтрации нефтепродуктов и технических масел, для фильтрования дизельного топлива, для фильтрования вин, для фильтрования воздуха, противопыльный;
- картон для легкой промышленности: обувной, геленок, стелечный, для задников, для платформ, простилочный, чемоданный, околышный;
- технический картон: водонепроницаемый, обивочный водостойкий, для радиотехнической промышленности, прокладочный, термоизоляционный прокладочный, шпульный, жаккардовый, заменитель фибры, электроизоляционных, электроизоляционный для работы в масляной среде, электроизоляционный для работы в воздушной среде, оксидный электроизоляционный, огнестойкий, прессшпан, циферблатный;
- строительный картон: кровельный, облицовочный.

Технический прогресс изменяет потребительский спрос и ассортимент вырабатываемой продукции, поэтому требуется постоянная корректировка классификации бумаги и картона. Например, в середине прошлого столетия бурное развитие получила электротехническая промышленность и потребовалось бумажную продукцию этого назначения выделить в самостоятельную группу, в которой ведущее положение заняли марки электроизоляционной, кабельной и конденсаторной бумаги. С изменением технологии эта продукция утрачивает свое значение, поскольку электроизоляционная бумага заменяется синтетическими изоляторами, конденсаторная — металлизированными пленками, телефонные кабели — оптическими. Поэтому в этой группе бумажной продукции ведущую роль уже играют электропроводящие виды бумаги и картона.

Технические изменения последних десятилетий, в том числе интенсивное внедрение электронной техники и информационных технологий, оказали влияние на ассортимент бумажной продукции, в частности появился новый класс бумаг для офисной техники. Произошло изменение на бытовом уровне, и поэтому значительно расширился ассортимент упаковочных видов бумаги, тарного картона, бумаг санитарно-гигиенического и медицинского назначения и некоторых других.

В 2018 г. в России насчитывалось 132 целлюлозно-бумажных предприятия. Крупнейшие заводы — всего их около 20 — расположены в Архангельской, Иркутской, Нижегородской областях, Республиках Карелия, Марий Эл и Коми, Пермском крае². На рисунке 2 представлена структура предприятий ЦБП России

² Лахтиков Ю. О. Переход ЦБП к нормированию по принципам НДТ. — Петрозаводск, 2019.

и производство продукции³ в 2018 г. Как видно из рисунка 2, на 18 предприятиях с годовой производительностью более 100 тыс. т произведено 82 % продукции, на 15 предприятиях с годовой мощностью 50–100 тыс. т — 9 % продукции, на 99 предприятиях мощностью до 50 тыс. т — также 9 % продукции.

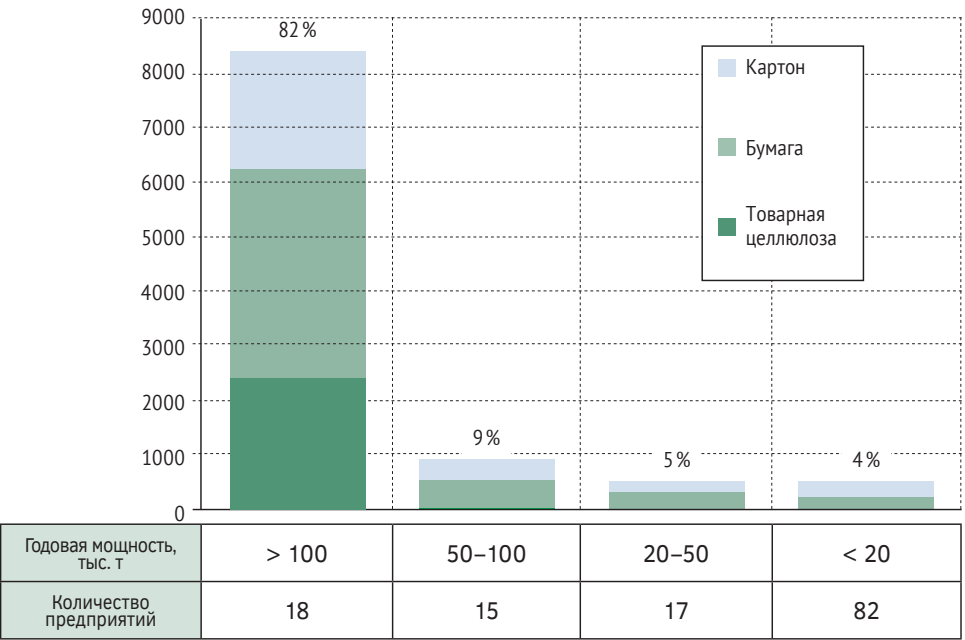


Рис. 2. Структура предприятий ЦБП России и производство продукции в 2018 г., тыс. т (источник: Росстат, обработка РАО «Бумпром»)

В нашей стране пять крупнейших производителей целлюлозы — филиалы АО «Группы “Илим”» в городах Коряжме (1,3 млн т), Братске (1,2 млн т) и Усть-Илимске (0,82 млн т), АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (1,0 млн т) и АО «Архангельский ЦБК» (0,8 млн т). В 2017 г. после завершения модернизации на АО «Сеgezский ЦБК» (входит в состав Segezha Group корпорации АФК Система) объем варки целлюлозы превысил 400 тыс. т в год, тогда как остальные целлюлозные предприятия России имеют производительность от 50 до 100 тыс. т.

В начале XXI в. вектор развития отечественной ЦБП характеризуется отсутствием строительства новых комбинатов в «чистом поле». Новые предприятия полного цикла — от подготовки щепы до упаковки товарной продукции — строят на уже существующих производственных площадках, что сокращает как минимум капитальные затраты на инфраструктурные проекты на 0,5 млрд долл. (новые электрические сети, дороги; жилищное строительство и т. д.).

³ Лахтиков Ю. О. Переход ЦБП к нормированию по принципам НДТ.

Однако такой подход не развивает другие лесные регионы страны. Целлюлозно-бумажная промышленность в «чистом поле» является исключительно капиталоемкой, и производство 1,3 млн т беленой целлюлозы в год оценивается 2,5 млрд долл. при сроке окупаемости 12 лет⁴. Сроки окупаемости проектов реконструкции существующих производств, в том числе при переходе на наилучшие доступные технологии (НДТ), во многом определяются производственной мощностью предприятия, которая в современных условиях не может быть менее 0,250 млн т, а строительство производства в «чистом поле» — порядка 1,5 млн т. Это показатель финансовой стабильности предприятия и его кредитоспособности, которая понадобится для получения заемных средств, необходимых для модернизации производства на основе НДТ и строительства новых предприятий.

Ведущие предприятия России (данные РАО «Бумпром») представлены в 10 субъектах Российской Федерации (табл. 2 и рис. 3).

Таблица 2. Ведущие предприятия ЦБП в России

№	Субъект Российской Федерации	Наименование предприятия
1	Тверская область	ОАО «Каменская БКФ»
2	Ленинградская область	АО «Кнауф Петроборд»
		ОАО «Сясьский ЦБК»
		ЗАО «Интернешнл Пейпер»
3	Нижегородская область	АО «Волга»
4	Республика Карелия	ОАО «Кондопога»
		АО «Сегежский ЦБК»
5	Республика Марий Эл	АО «Марийский ЦБК»
6	Республика Татарстан	ЗАОР «Набережночелнинский КБК»
7	Архангельская область	Филиал Группы «Илим» в Коряжме
		АО «Архангельский ЦБК»
8	Пермский край	АО «Соликамскбумпром»
		ЗАО «Пермская ЦБК»
9	Республика Коми	АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»
10	Иркутская область	Филиал Группы «Илим» в Братске
		Филиал Группы «Илим» в Усть-Илимске

⁴ Numminen Ju. Will we see Greenfield Pulp Mill projects built in Russia? Banker's view. — International Forum Pulp-For Russia, 2012.

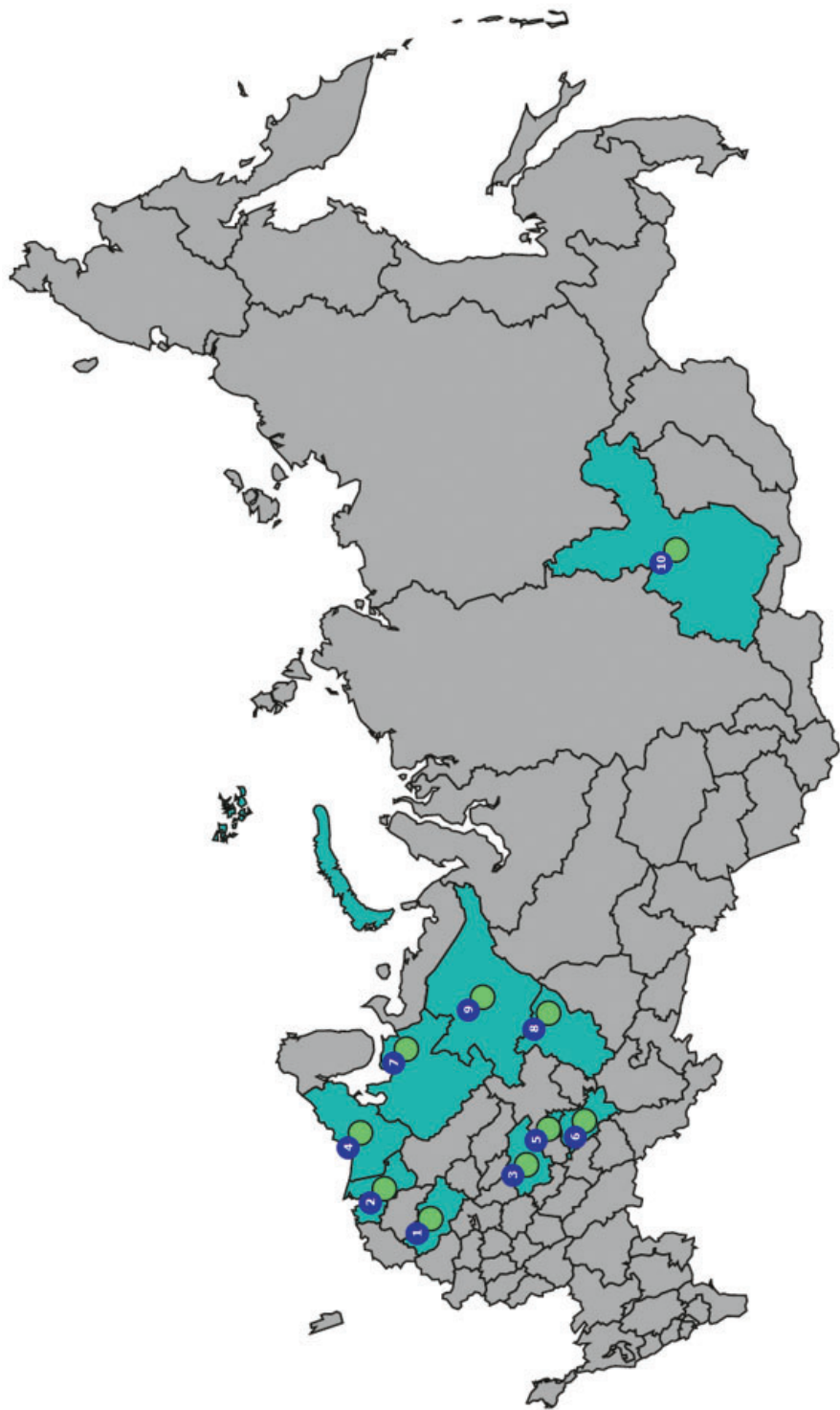


Рис. 3. Карта-схема расположения ведущих предприятий ЦБП России

ИСТОРИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И РАЗВИТИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В истории человечества основными носителями письменной информации служили папирус, животный пергамент и бумага. Если эра папируса завершилась в XII в., животного пергамента — в XVI в., то бумага до конца XX в. оставалась основным материалом для письма. Только в 1980-е гг. с зарождением электронных носителей информации бумага стала постепенно терять свои позиции (рис. 4).

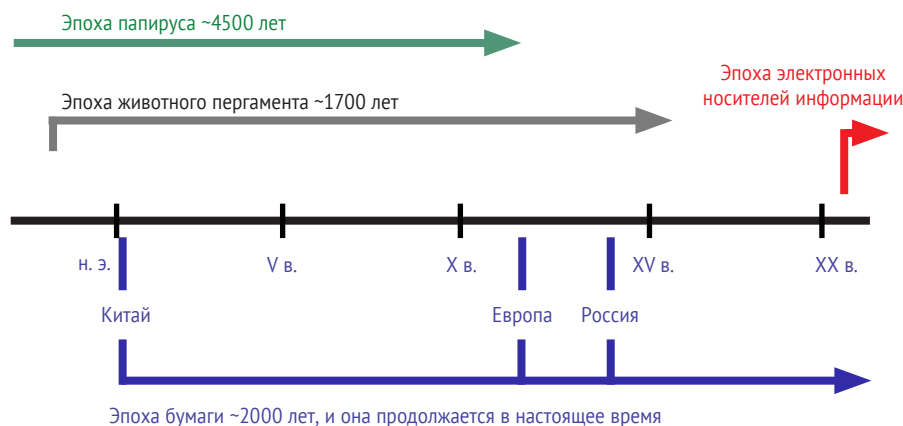


Рис. 4. Основные виды носителей письменной информации в истории человечества

Долгое время считалось, что первая бумага появилась в 12 г. н. э., однако археологические раскопки 1957 г., проведенные в провинции Шэньси, открыли миру образцы бумаги, возраст которой отнесен к I–II вв. до н. э.

Бумага изготавливается из отдельных волокон, предварительно смешанных с водой и затем в виде волокнистой суспензии обезвоженных на сетке, на которой формируется лист бумаги. Способ получения бумаги из отдельных волокон шелка, пакли, коры шелковицы, луба молодого бамбука и тряпья относят к 105 г. и приписывают Цай Луню. В более поздней китайской летописи сказано: «Всякий высоко ценит деятельность Цай Луня: он изобрел производство бумаги, и слава его живет до сих пор... Во всем мире еще и теперь делается бумага из ветвей деревьев»⁵.

Неоспоримым преимуществом изобретения Цай Луня является вовлечение в производство бумаги практически любого вида растительного сырья и волокнистых отходов, что стало фундаментальной основой для более дешевого и, следовательно, более доступного носителя письменной информации, чем папирус и животный пергамент.

⁵ Цит. по: Верзилин Н. М. По следам Робинзона. — М., 1946.

Первая в мире газета, отпечатанная на бумаге, была выпущена в Китае в 725 г. и называлась «Ди-бао» («Вестник»). С XVIII в. она носила название «Цзин-бао» («Столичный вестник») и выпускалась до 1911 г.⁶

Недостатком папируса было то, что его получали только из травянистого многолетнего растения семейства осоковых (*Cyperus papyrus*), растущего в заболоченных районах дельты Нила (папирус по-египетски означает «дар реки»). Для производства папируса использовали природную ткань луба, нарезаемую узкими тонкими полосками, которые укладывали вдоль и поперек листа (рис. 5, 6). Потребительские свойства папируса как писчего материала были невысоки: у него была недостаточно ровная поверхность, невысокая механическая прочность. Так, древние авторы утверждали, что папирусные свитки изнашивались довольно быстро. Папирус был чувствителен к атмосферной влаге и любым механическим повреждениям, так что в античности книга-свиток старше 200 лет была большой редкостью⁷.

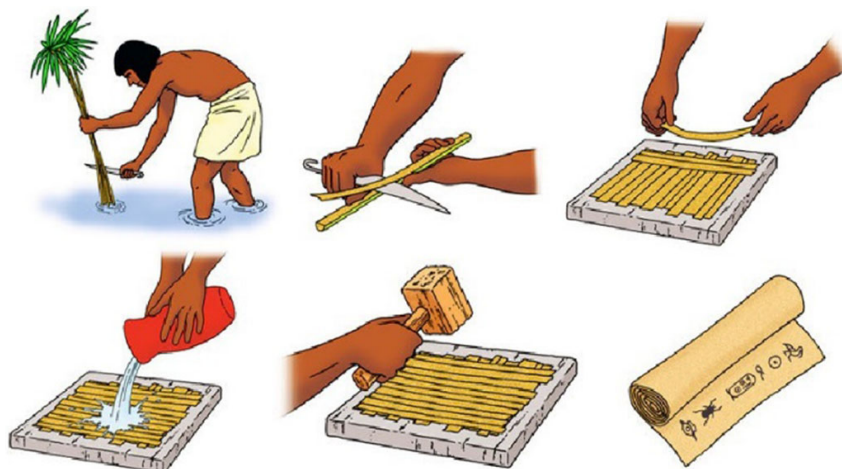


Рис. 5. Технология получения листов папируса

Рис. 6. Лист папируса, полученный в наши дни



⁶ Смирнов В. С. Как печатается газета // Смирнов В. С. От ёлки до газеты. — М., 1962.

⁷ Борухович В. Г. В мире античных свитков. — Саратов, 1976. — С. 42, 110.

Совокупность отмеченных недостатков уже в XII в. привела к отказу от папируса в пользу животного пергамента и бумаги.

В период зарождения печатного дела использовали как пергамент, так и бумагу. Книгопечатание началось в 1455 г. в Майнце, когда Иоганном Гутенбергом, изобретателем наборного шрифта и печатного станка, было произведено 180 экземпляров 1272-страничной Библии, из которых 135 экземпляров было отпечатано на первосортной итальянской бумаге, а на пергаменте — только 45, и стоили они значительно дороже. Поэтому последовавший в Средние века бурный рост книгопечатания привел к сокращению использования животного пергамента, так как его цена, длительность и сложность изготовления, а также ограниченный объем производства уже не удовлетворяли потребностей печатников. Бумага начиная с середины XV в. становится главным носителем письменной информации человечества.

Источники сырья в истории производства письменных носителей информации представлены на рисунке 7. Обратимся к Энциклопедическому словарю Брокгауза и Ефрона, изданному в 1891 г., и рассмотрим, что в то время являлось сырьем в производстве бумаги: «Лучший материал доставляют тряпки изношенных хлопчатобумажных и льняных тканей. Но так как их не хватает, то берутся суррогаты, как то: дерево <...> солома злаков и бобовых, тростники, сено, черемича, крапива, репейник, шильник, волчье лыко, кора акации, липы и ольхи, стебли конопли и мака, древесные листья, муравьиная трава, папоротник, луб папируса, бамбука и шелковицы, сырой хлопок, сахарный тростник, пальмы, алоэ, альфа, пизанг, джут, юкка, шерсть, шелк, кожа, асбест и торф»⁸.

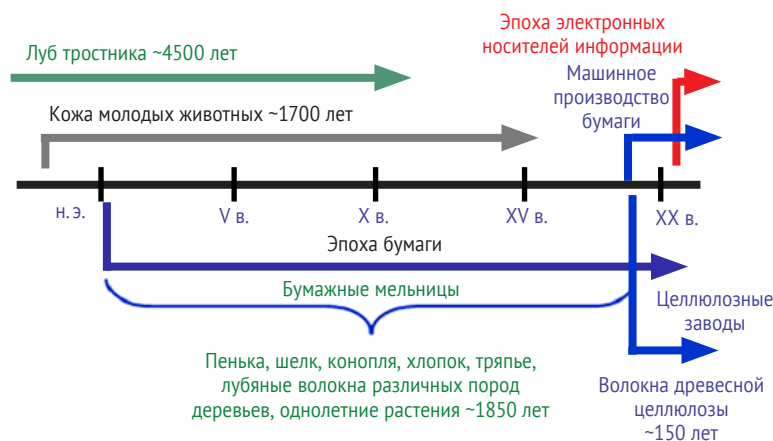


Рис. 7. Источники сырья в производстве письменных носителей информации

⁸ Энгельмейер П. Бумага писчая // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. — Т. IVa. — СПб., 1891. — С. 919.

Как показано на рисунке 7, на протяжении ~1850 лет волокна для отлива бумаги производили на бумажных мельницах и только последние ~170 лет — на заводах по получению древесной массы и производству целлюлозы по кислотному и щелочному способам варки. Их принципиальное различие в том, что на бумажных мельницах в качестве волокнистого сырья использовали только тряпье и растительные волокна, а также луб коры деревьев, которые обработками в водной среде механически разделяли на отдельные волокна, но сама древесина переработке не подвергалась. Древесина как источник сырья для получения волокон стала использоваться лишь с середины XIX в. с появлением заводов по производству механической древесной массы и химической целлюлозы.

Рассмотрим в хронологическом порядке основные моменты в истории развития производства волокон и бумаги.

История усовершенствования инструментов и механизмов на бумажных мельницах для подготовки бумажной массы из тряпья и волокнистого сырья на протяжении 1850 лет представлена на рисунке 8.

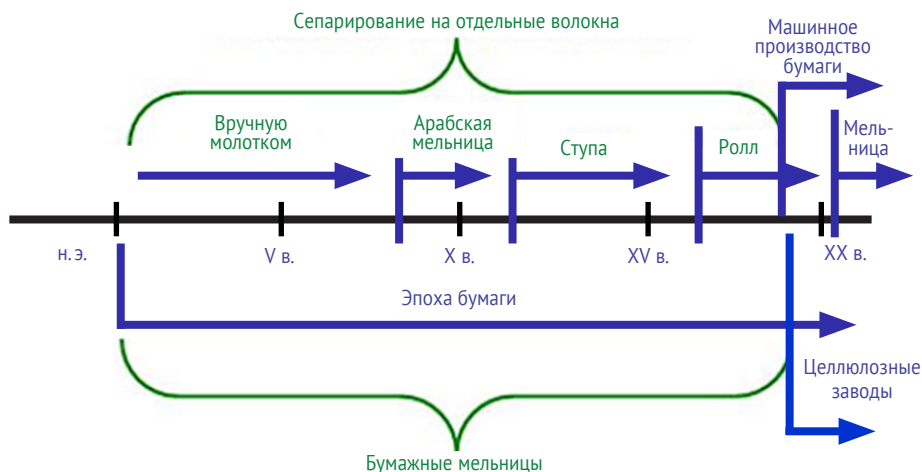


Рис. 8. Технические усовершенствования в производстве волокон на бумажных мельницах

Китайцы почти пять столетий хранили секрет изготовления бумаги как государственную тайну. Священные тексты Будды на бумаге распространяются по всей стране, и естественным образом они попадают к соседям. Корея узнала секрет производства бумаги в V в., но ничего нового в технологию ее изготовления не внесла. В Индии и Вьетнаме в V в. впервые получили бумагу из вторичного сырья: льняного, пенькового тряпья и старых парусов, что можно считать первым шагом в области переработки вторичных ресурсов для выработки бумаги.

В Японию бумага попала в начале VII в., и японские мастера внесли много усовершенствований в технологию производства, благодаря чему появились различные виды декоративной бумаги. Япония стала первой страной, где из

бумаги начали производить предметы домашнего обихода. Сын императора Японии Тайши впервые предложил плантационное выращивание шелковицы. Бумага, полученная из ее коры, была более плотной, прочной, а главное — гибкой, что отличало ее от китайской бумаги, полученной из бамбука. По указу императора бумагу должны были изготавливать только из коры шелковицы.

Практически в то же время началось производство бумаги в арабском мире. Самарканд, бывший столицей Согдианы, стал первым мусульманским городом, изготовившим бумагу. Несколько позже халиф Харун ар-Рашид (776–809) повелел повсеместно использовать бумагу для делопроизводства, что потребовало увеличить объем ее выработки. Именно арабы внесли существенное улучшение в производство волокон. Они стали использовать водяную мельницу для разделения сырья (тряпье, растительные волокна) на отдельные волокна. Такая механизация тяжелого ручного труда значительно увеличила производительность процесса получения волокон и выработки бумаги.

Появление большого количества бумаги в арабском мире способствовало записи на ней многочисленных сказок и легенд, что объясняет появление популярного сборника народных сказок, из которого сложилось знаменитое собрание «Тысяча и одна ночь».

В 868 г. в Китае изготовлена первая печатная книга — «Бриллиантовая сутра», древнейшая из сохранившихся печатных книг, а в 970 г. в Китае выпущены бумажные деньги.

В Европе производство бумаги началось только в 1150 г. в Испании в Валенсии, в то время принадлежавшей арабам. Затем бумажное производство в 1190 г. продвинулось во Францию (г. Геро), позднее, в 1260 г., — в Италию (г. Фабриано). Итальянские мастера в XIII в. внесли существенные усовершенствования в производство бумаги. Так, в 1275 г. в Фабриано впервые стали использовать водяные знаки на бумаге. Для повышения производительности размолы тряпья предложили вместо каменной ступы с деревянным пестом использовать толчею (рис. 9)⁹. В ней деревянный вал (А), приводимый в движение водяным колесом, поднимал закрепленными на валу кулачками (а) рычаги (В), к которым приделаны колоды (D) с закрепленными железными башмаками, разбивающими массу, заложенную в корыто (С). Кроме того, итальянские мастера для ускорения процесса обезвоживания листов впервые стали использовать винтовые прессы.

Позднее значительный вклад в интенсификацию процесса размолы волокнистых материалов внесли голландцы, которые в 1670 г. впервые применили ролл, имеющий производительность

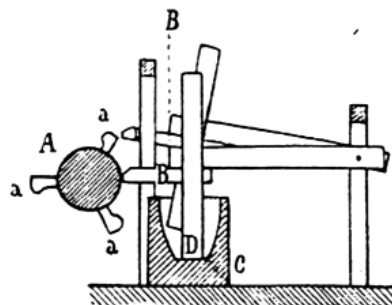


Рис. 9. Толчея

⁹ kn_nazarov. Размольное оборудование : Толчея // Бумага ручной выделки : Верже. — URL: <https://kn-nazarov.livejournal.com/1782.html> (дата обращения: 30.10.2021).

в три раза выше толчеи. Ролл представляет собой ванну объемом 3–18 м³, разделенную на две части (канала). В одном из каналов установлен ножевой размалывающий барабан, под которым закреплены ножи, собранные в так называемые планки. При прохождении водной суспензии, содержащей 3–7 % (по массе) волокнистого материала, между ножами планки и вращающегося барабана, материал размалывается и ножами барабана перебрасывается через перегородку (горку) в другой (оборотный) канал, по которому масса самотеком снова направляется к барабану¹⁰.

Благодаря усовершенствованному размолу волокон в 1750 г. в Англии Дж. Баскервилем впервые была изготовлена веленевая бумага, похожая на тонкий сорт пергамента из телячьей кожи (*фр. velin*), такая же гладкая и плотная, с равномерным просветом.

На смену роллам в подготовке бумажной массы только в 1930-е гг. пришли более производительные аппараты непрерывного действия: дисковые и конические мельницы, но это происходит уже в период машинного производства бумаги из древесного волокна.

Рассмотрим историю технических изменений в процессе отлива бумаги и ее влияние на производство волокон.

До конца XVIII в. неизменным оставался ручной процесс отлива бумажного листа. Только в 1799 г. служащий бумажной мануфактуры в Эссоне Луи-Николя Робер предложил механизировать отлив бумаги при помощи бумагоделательной машины — самочерпки. Деревянный механизм с ручным приводом занял площадь 4,5 м². Между стойками машины располагался чан, обтянутый железными обручами. Два валика огибала медная сетка. С поворотом привода сетка приходила в движение вместе с крылаткой, черпавшей из чана на нее бумажную массу. Вода стекала через ячейки сетки, на которой оставался тонкий слой переплетенных волокон. Влажное бумажное полотно отжимали между обтянутыми сукном валиками и наматывали на приемный вал. Разрезанные листы сушили на веревках. Первая машина имела ширину в 0,64 м, работала со скоростью 5 м/мин и давала 100 кг бумаги в сутки.

Англичане — братья Генри и Сили Фурдринье купили патент Робера и усовершенствовали изобретение француза, и в Англии в 1806 г. была запатентована машина, состоявшая из нескольких отливных форм, последовательно двигавшихся друг за другом.

Значительно упростила и увеличила производство бумаги ее проклейка непосредственно в бумажной массе, которую в 1807 г. предложил немецкий изобретатель Мориц Фридрих Иллинг, заменившую поверхностную обработку каждого листа клеем.

Англичанин Джон Дикинсон в 1809 г. запатентовал первую круглосеточную (барабанную) бумагоделательную машину, и уже через пять лет на бумаге, полученной на круглосеточной машине, напечатали газету.

В это время бумагоделательные машины лишь формовали и прессовали бумажное полотно, а сушили бумагу, как и раньше, на воздухе. Только в 1823 г.

¹⁰ Ролл // Большая советская энциклопедия. — М., 1969–1978.

появились первые сушильные цилиндры с угольными жаровнями. Позднее для их нагрева стали использовать пар, что упростило и механизировало процесс сушки.

В 1825 г. под сетку бумагоделательной машины впервые поместили отсасывающие ящики с вакуумными насосами, что увеличило скорость обезвоживания на сетке, а также установили ровнительные валики для механического нанесения водяных знаков.

С появлением в начале XIX в. первых бумагоделательных машин потребовалось больше волокнистого сырья, источником которого в основном оставалось тряпье.

В это время древесное вещество считали простым углеводом, и только в 1838 г. в древесной ткани ученые впервые выделили целлюлозу и «инкрустирующие вещества». Это стало первым шагом в исследовании строения древесного вещества, которое получило название древесной ткани и стало основой для поиска способов ее разделения на отдельные волокна. Способ механического разделения древесины на волокна впервые осуществил в 1843 г. Фридрих Готтлоб Келлер из Саксонии, который получил древесную массу, прижав для разволокнения древесину тополя к шлифовальному кругу. В 1845 г. получили первую бумагу в композиции 60% древесная масса и 40% ветоши. В 1852 г. построили две промышленные машины для производства дефибрерной древесной массы (ДДМ), что стало началом освоения промышленного производства механической массы из древесного сырья.

В 1853 г. для удаления «инкрустирующих веществ» из древесины был предложен способ варки с едким натром при температуре 180° С и давлении 11 атмосфер, который стал первым химическим способом получения целлюлозы из древесного сырья. Такой способ получения целлюлозы из древесины получил название натронного, или содового. Первый завод для производства целлюлозы по натронному способу варки был построен в США в 1860 г.

В 1854 г. Оттмар Мергенталер разработал первую работоспособную наборную машину и обеспечил головокружительный рост спроса на газетную бумагу.

В 1856 г. Франке изобрел цилиндрические узлоловители для очистки массы, которые значительно улучшили ее качество и сократили затраты на ее подготовку.

В 1857 г. исследования ученых показали, что в древесине существует окисляемая субстанция, которая получила название лигнин. Это открытие стало основой для поиска различных химических способов выделения целлюлозы за счет растворения лигнина. Один из первых патентов на метод кислотной делигнификации, посредством которой древесная ткань распадалась на отдельные волокна (клетки), был выдан в 1863 г., а уже в 1870-е гг. в Швеции и Германии построили первые сульфитцеллюлозные заводы.

Бумага проникает во все сферы жизни человека, и ее нужно все больше и больше. Так, в США в 1871 г. впервые появилась туалетная бумага и получен первый патент на бумажные полотенца.

В 1875 г. на Леаганском целлюлозном заводе, недалеко от Данцига, при варке натронной целлюлозы в качестве побочного продукта щелочной варки

впервые конденсацией парогазов получили скипидар — ценный лесохимический продукт.

В 1882 г. немецким инженером С. Ф. Далем был открыт сульфатный способ варки целлюлозы, в котором он предложил восполнять потери дорогой щелочи дешевым сульфатом натрия, месторождения которого найдены в природе. И уже в 1884 г. Даль впервые на Леаганском заводе применил сульфатный метод варки целлюлозы. Качество сульфатной целлюлозы было очень хорошим, но сульфатный скипидар из-за своего запаха перестал удовлетворять потребителей. С целью очистки сульфатного скипидара проводились многочисленные исследования, но только в 1950-е гг. эта проблема была устранена за счет подбора температуры конденсации скипидара из парогазов, и с тех пор сульфатный скипидар стал востребованным сырьем химической промышленности.

Первый завод по производству сульфитной целлюлозы в США построили в 1884 г., а первый сульфатцеллюлозный завод — в Швеции в 1885 г.

Производство целлюлозы из древесины требует большого объема древесного сырья, и в 1892 г. для механизации процесса окорки древесины впервые запатентован способ ее проведения во вращающемся барабане с подогретой водой. Принцип окорки бревен во вращающемся барабане сохранился.

В 1893 г. П. Класон сообщил о наличии смоляных кислот, которые можно выделить из черного сульфатного щелока, и через два года было предложено выделять талловое масло из черного щелока при помощи кислоты, соли и центрифугирования, а в 1903 г. сырое талловое масло (СТМ) уже появилось на рынке в Швеции. Так щелочной (сульфатный) способ варки на рубеже XIX–XX вв. дал начало получению ценных лесохимических продуктов, таких как скипидар и СТМ, из отходов производства¹¹. Первые сульфатцеллюлозные заводы в России построили в 1910 г. в Понинке и Пензе, они выпускали целлюлозу из соломы.

Если до 1850-х гг. для получения волокон использовали в древесине только внутреннюю часть коры — луб, который составляет ~ 40% от общей толщины коры, то в производстве лубяных волокон использовали в качестве сырья только ~ 4% от объема древесного ствола. К концу XIX в. сформировались технические идеи химической делигнификации древесины по кислотному и щелочному способу варки. Они открыли значительный по объему и дешевый источник целлюлозы, поскольку древесина в стволе взрослых деревьев занимает 85–95% его объема, и весь этот объем древесного ствола может идти на переработку в волокно! Так началась эра производства технической целлюлозы и появилась целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП).

А. Л. Лавуазье справедливо утверждал, что «индустрия — это жизнь цивилизованного государства. Нельзя рассчитывать на успех индустрии, если не совершенствовать непрерывно математические, физические и химические науки... Все части наук и ремесел связаны. Это одна армия, имеющая один фронт»¹².

¹¹ Богомолов Б. Д. Побочные продукты сульфатно-целлюлозного производства: химия и технология. — М., 1962.

¹² Цит. по: Старосельская-Никитина О. А. Очерки по истории науки и техники периода французской буржуазной революции. — М., 1946.

Производство технической целлюлозы из древесного сырья потребовало оборудования для получения щепы из круглого леса, создания оборудования для варки и отбелики целлюлозы, для регенерации использованных химических реагентов, а также создания различных производств по получению необходимых реагентов (щелочь, кислоты, хлор, гипохлорит натрия), создания контрольной и измерительной аппаратуры, разработки методов анализа поступающих сред и готовой целлюлозы и бумаги. Технологические процессы требуют использования избыточного давления и протекают в агрессивной среде. Поэтому новое, наукоемкое производство впитало в себя результаты исследований и опытно-конструкторских работ XVIII–XIX вв. в областях металловедения, неорганической и органической химии, химии древесины, технологии производства целлюлозы, химической технологии процессов и аппаратов. В связи с этим можно упомянуть работу Л. П. Жеребова «Химическая сторона сульфит-целлюлозного производства» (1894)¹³, в которой впервые был научно представлен анализ технологических процессов и намечены пути их усовершенствования.

Можно ли было организовать производство целлюлозы из древесины ранее конца XIX в.? Отметим, что для получения лубяных волокон, ранее применявшихся в производстве бумаги, в качестве щелочи использовалась только древесная зола, которую также использовали в производстве стекла, для отбеливания, стирки и чистки тканей. Другого промышленного способа получения щелочи в таких масштабах не существовало. Д. А. Заварицким¹⁴ в 1856 г. была подробно описана техника и технология производства карбоната калия (поташа) из древесины, которая состояла из четырех последовательных операций: приготовление золы, выщелачивание золы, выпаривание зольного щелока, прокаливание сырого поташа. По данным автора, из 8 м³ древесины различных пород можно получить 2–8 кг поташа, а для варки 1 т целлюлозы необходимо 350 кг поташа в единицах NaOH.

Свое начало современное естествознание берет с 1620-х гг.

Одна из первых академий наук в мире — Французская академия в 1775 г. объявила премию за изобретение процесса, в котором хлорид натрия, в изобилии встречающийся в природе, можно было бы превращать в соду, чтобы использовать ее взамен древесной золы для производства стекла и мыла. Французский химик-технолог и инженер Николя Леблан разработал промышленный способ получения чистого карбоната натрия из поваренной соли¹⁵. При действии серной кислоты на поваренную соль он получил сульфат натрия (глауберову соль), который далее прокаливал в пламенной печи вместе с углем и известняком. В результате получился плав, из которого водой извлекали карбонат натрия. В 1791 г. по методу Н. Леблана под Парижем был построен первый завод по производству карбоната натрия производительностью 250–300 кг/сут. Современники восторженно отмечали, что «открытие искусственной соды есть одно из наиболее значительных благодеяний, если не самое значительное, среди тех, которые новая

¹³ Жеребов Л. П. Химическая сторона сульфит-целлюлозного производства. — СПб., 1894.

¹⁴ Заварицкий Д. А. Производство поташа. — Казань, 1856.

¹⁵ Раскин Н. М. Николай Леблан (1742–1806). — М. ; Л., 1937.

наука дала человечеству»¹⁶. И это не преувеличение заслуг Леблана. Получение соды из минеральных источников открыло промышленное производство значительно более дешевого, а следовательно, и широкодоступного мыла, заменившего поташ и древесную золу, а также послужило стимулом к сохранению от варварского истребления лесов и толчком к развитию стекольной промышленности. Через 150 лет технология, разработанная Лебланом, была востребована в содорегенерационном котлоагрегате (СРК) с целью регенерации щелочи.

В процессе сульфатной варки древесины образуются целлюлоза и черный щелок. Его отделяют от целлюлозы, упаривают и добавляют сульфат натрия для восполнения потерь щелочи, возникающих в производственном процессе. Полученную смесь органических и минеральных веществ черного щелока и добавленного свежего сульфата натрия сжигают в СРК. Из органической части щелока производят тепловую энергию, необходимую для образования плава из минеральной части щелока. Далее плавы растворяют водой и получают раствор соды. Отходящие дымовые газы нагревают воду до перегретого пара, который используется для выработки электрической энергии и далее в технологических процессах. Эта технология сжигания черных щелоков с целью регенерации щелочи, модифицированная в 1933 г. для одновременного получения тепловой и электрической энергии, является примером широко применяемой современной «зеленой технологии».

Только значительно позднее возникло производство аммиачной соды. В 1865 г. Эрнест Сольве¹⁷ построил небольшой завод в местечке Куи (Бельгия), на котором хлорид натрия растворял в аммиачной воде. Полученная сода была более дешевой и стала основой для производства мыла и моющих средств. Но настоящим прорывом в производстве щелочи и хлора стала первая в мире установка электролиза, запущенная в эксплуатацию в 1890 г. и производившая ежедневно 1,5 т каустической соды и 2,5 т хлора.

Так, благодаря результатам научных исследований во всех областях знаний начиналось становление промышленного производства химических реагентов, необходимых целлюлозной промышленности. Результаты фундаментальных и прикладных научных исследований XIX в. во всех областях науки и техники стали фундаментом быстрого развития ЦБП, и из мелкокустарного производства бумаги выросла крупная отрасль промышленности.

В начале XX в., через 100 лет после изобретения бумагоделательной машины, ее ширина достигла 4 м, скорость — 140 м/мин, а производительность — 20 т/сут. В 1908 г. создан многодвигательный электрический привод бумагоделательной машины, заменивший громоздкий групповой привод с ременной передачей. В прессовой части машины гауч-пресс заменен отсасывающим валом. В 1913 г. в Германии Шихтен¹⁸ впервые применил заправочные канатики, которыми осуществил заправку бумажного полотна с последнего пресса в сушильную часть и между сушильными цилиндрами до каландра бумагоделательной машины,

¹⁶ Раскин Н. М. Николай Леблан (1742–1806).

¹⁷ Фёлкер Э. Большая отбелка: Одна промышленная история. — Нифрен, 1892. — С. 34.

¹⁸ Терминологический словарь по бумаге и картону. — СПб., 2003. — С. 376.

что значительно упростило заправку полотна. Началась специализация машин для производства определенных сортов бумаги и картона. За первые двадцать лет XX в. ширина машины увеличилась до 6 м, скорость — до 300 м/мин, а производительность — до 100 т/сут.

Рост производительности бумагоделательного оборудования требует роста объемов производства волокнистых полуфабрикатов из древесного сырья, а рынок бумаги — соответствующего качества и низкой стоимости продукции.

В 1922 г. Генрих Виггер из города Унна в прусской провинции Вестфалия получил первый патент на установку для производства древесной щепы, идущей на выработку целлюлозы. В конструкции рубительной машины использовал стальной диск и установил на нем лезвия ножей. Диск расположил перпендикулярно поступлению бревен, и его вращение обеспечил электрический двигатель. Лезвия ножей срезали древесину с образованием толстой стружки, которая выбрасывалась из желоба фланцами по краям диска.

К 1925 г. доля сульфатной целлюлозы в мировом производстве волокнистых полуфабрикатов составила 25 %. А начиная с 1930-х гг. производство целлюлозы по сульфатному способу варки в США уже начинает доминировать над сульфитным способом, поскольку щелочным методом можно перерабатывать все древесные породы, тогда как запасы ели и пихты — древесного сырья для сульфитного способа — иссякали. Росту производства сульфатной целлюлозы также способствовал резкий скачок спроса на оберточные виды бумаги и упаковку. Нужно отметить, что к началу 1900-х гг. сульфитный и сульфатный способы варки работали без регенерации химикатов, и потери химических реагентов восполняли свежими химикатами. Только в 1933 г. был установлен первый регенерационный котел для сжигания сульфатных щелоков производительностью 120 т абсолютно сухих веществ в сутки, изобретенный канадским ученым Д. Г. Томлинсоном, который открыл эру экономичной и энергоэффективной сульфатной варки целлюлозы.

Удельный вес сульфитной целлюлозы в общем объеме выпуска целлюлозы в разных странах в 1950-е гг. представлен в таблице 3.

Таблица 3. Уровень производства сульфитной целлюлозы в различных странах в начале 1950-х гг.

Страна	Производство, млн т		Удельный вес сульфитной целлюлозы в общем объеме выпуска, %
	всех видов целлюлозы	в т. ч. сульфитной	
США	12,8	2,15	17
Канада	3,36	2,15	64
Швеция	2,36	1,37	58
Финляндия	1,16	0,82	70
Япония	0,75	0,55	73
Западная Германия	0,50	0,50	100
Норвегия	0,50	0,41	82

В Западной Германии все 100% объема производства целлюлозы получены по сульфитному способу. Напомним, что сульфатный способ варки был изобретен в Германии в 1882 г. и практически сразу запрещен на законодательном уровне¹⁹. Запрет был связан с образованием дурнопахнущих соединений серы в процессе варки (первый сульфатцеллюлозный завод появился только в 2004 г., когда уже были разработаны технологии по сжиганию дурнопахнущих соединений).

В начале 1960-х гг., с ростом объемов производства, на предприятиях ЦБП появились компьютерные системы управления на основе больших ЭВМ того времени: первая система управления бумагоделательной машиной — на заводе Potlatch Forests, Inc. (США, штат Айдахо) в 1961 г., первая система управления варочным котлом — на заводе Gulf States Paper (США, штат Алабама) в 1962 г., в Европе — на заводе Enso-Gutzeit Oy Kaukoräi (Финляндия) в 1963 г.

В 1960-е гг. общей практикой сульфитных заводов был сброс отработанных варочных щелоков в прилегающие водные бассейны. В эти годы небольшие заводы в Северной Америке и Европе работали с достаточно высокой прибылью, которая позволяла использовать свежие химикаты на варку и закупать необходимую электрическую и тепловую энергию²⁰. Известно, что отработанный сульфитный варочный щелок является токсичным для водных микроорганизмов и вызывает очень высокое биохимическое потребление кислорода, попадая в водоем. Поэтому к концу 1960-х гг. стало очевидным, что в самое ближайшее время общественность запретит прямой сброс отработанных щелоков. Сульфитным предприятиям, помимо экологических проблем, ощутимый удар в начале 1970-х гг. нанес мировой энергетический кризис, в результате которого резко увеличилась стоимость энергии. Сульфитные заводы впервые столкнулись с проблемой закрытия производства или реорганизацией для установки систем регенерации химикатов (это существенные капитальные затраты и дополнительные производственные расходы), которые дают производству часть необходимой энергии от сжигания органических веществ щелока и прекращают сброс щелоков в водные бассейны. Скандинавские заводы первыми стали сжигать щелоки для получения энергии²¹.

Еще одной проблемой сульфитного способа является переработка малосмолистых древесных пород — ели и пихты, поскольку при кислотном процессе смолистые вещества не растворяются и вызывают так называемые смоляные затруднения²², тогда как сульфатный способ варки в щелочной среде лишен данного недостатка и перерабатывает любые древесные породы.

¹⁹ Wong A. Sulphite, new Wave // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta, 1992.

²⁰ Там же.

²¹ Буйницкая М. И. Анализ состояния и направления совершенствования производства сульфитной целлюлозы // Целлюлоза, бумага и картон. — 1990. — № 23. — С. 4.

²² Иванов М. А. Смолистые вещества древесины и целлюлозы, их роль в целлюлозно-бумажной промышленности. — М., 1968. — С. 3.

Помимо ограничений породного состава древесины, используемой на варку сульфитным способом, у сульфитной бумаги бумагообразующие свойства хуже, чем у сульфатной, волокна которой относительно меньше укорачиваются при размоле и дают более сомкнутый и менее прозрачный лист. Кроме того, продолжительность сульфитной варки на 2–3 ч больше, чем сульфатной. Следовательно, оборот варочного котла при периодической сульфитной варке больше и, соответственно, суточная и годовая производительность с 1 м³ объема котла в два раза ниже, чем при сульфатной периодической варке²³, и совершенно несравнима с непрерывным способом. Этот показатель исключительно важен, поскольку производство целлюлозы капиталоемкое и более высокая производственная мощность имеет меньший срок окупаемости проекта.

С целью повышения конкурентоспособности сульфитного способа был разработан и внедрен способ непрерывной варки, в частности на заводе в Манхайме (Германия), который работает и в настоящее время. Были предложены ступенчатые способы варки на натриевом основании, которые позволяют перерабатывать практически любые породы древесины, включая лиственницу. Несмотря на очевидные экономические преимущества, ступенчатые варки из-за трудности регенерации химикатов отработанных щелоков на натриевом основании проиграли бисульфитному способу на магниевом основании, при котором эффективно решается регенерация химикатов, обеспечивая экологические преимущества способа²⁴. Однако имеющиеся недостатки сульфитного способа варки показали, что он неконкурентоспособен на рынке целлюлозы для производства бумаги (не удовлетворяет по качеству продукции и экономической эффективности производства) и его применение целесообразно только в сегменте производства специальных видов целлюлозы, включающих целлюлозу для химической переработки.

В 1970-е гг. резко увеличилась стоимость производства целлюлозы, выросли капитальные затраты на строительство целлюлозных заводов, а также требования к охране окружающей среды. Особенно это коснулось сульфитной целлюлозы, что способствовало сокращению ее производства и быстрому внедрению нового способа производства волокнистого полуфабриката — термомеханической массы (ТММ) — взамен сульфитной целлюлозы в композиции бумаги. Высокие механические свойства ТММ позволили частично или полностью заменить целлюлозу в композиции некоторых массовых видов бумаги. По сравнению с другими видами древесной массы ТММ содержит большее количество длинных волокон благодаря размягчению щепы в процессе ее предварительной пропарки. Этот технологический элемент повышает физико-механические свойства полуфабриката, что увеличивает прочность бумажного полотна во влажном состоянии, повышает безобрывность работы БДМ и печатных станков. Кроме того, производство ТММ характеризуется незначительными выбросами

²³ Бегунов Ю. Р. Экономические аспекты производства сульфитной целлюлозы. — СПб., 1992.

²⁴ Сравнение бисульфатного и двухступенчатого методов варки древесины. — СПб., 1992. — С. 9–10.

в окружающую среду и низкими, в 4–6 раз меньшими, удельными капитальными затратами: 50 тыс. долл. на 1 т ТММ вместо 200–300 тыс. долл./т суточной мощности целлюлозного завода (цены 1975 г.). Это обеспечило исключительно быстрое распространение производства ТММ. Если в 1968 г. имелась одна промышленная установка мощностью 30 тыс./год, то в конце 1970-х гг. во всем мире работали 89 установок, которые производили 6 млн т ТММ: 55 установок получали массу для газетной бумаги, 20 — для различных видов печатной бумаги (журнальной, офсетной, основы для мелования, бумаги для справочников и т. п.), четыре — для санитарно-бытовых видов бумаги, и только шесть установок производили товарную ТММ. В качестве сырья для производства ТММ используют хвойные породы древесины: ель, сосну, гемлок, бальзамическую и дугласову пихту, отходы лесопиления. ТММ из лиственных пород древесины используют для производства картона, журнальной, писчей, печатной, газетной бумаги и пушонки.

Первая промышленная установка по производству ХТММ мощностью 375 т/сут и выходом массы 90–92 %, поставленная фирмой «Дефибратор», начала работать в 1978 г. в Канаде на заводе «К° Канадиан Интернэшнл Пейпер» в городе Гатино, провинция Квебек. Удельный расход энергии на производство ХТММ составляет 1340 кВт·ч/т. Использование ХТММ в сочетании с ДДМ в производстве газетной бумаги сократило в композиции содержание полубеленой сульфатной целлюлозы с 17 до 6 %.

Начиная с 1970-х гг. быстро развивается техника электронных коммуникаций и высказываются опасения, что они полностью вытеснят бумагу. Однако спрос на бумагу, особенно на «деловую» (конторскую) бумагу и бумагу для деловой переписки, значительно увеличивается с изменением ее ассортимента²⁵. В качестве примера новых образцов спроса в 1980-е гг. можно отметить рулонную бумагу для распечаток с компьютеров, бумагу для печати на конторских репрографических аппаратах, копийную бумагу — огромный рынок бумаг, которого еще в 1960-е гг. не было. И темпы среднегодового прироста спроса на бумагу и картон устойчиво сохраняются на уровне 2,3 % до 2000 г.

«Деловую» бумагу достаточно условно подразделяют на канцелярскую/формулярную, копийную/множительную бумагу и безугольную бумагу для машинных копий. В 1986 г. общий рынок этих видов бумаг (исключая безугольные бумаги) в Западной Европе составил 3,2 млн т, в США — 4,1 млн т. Потребление безугольной копийной бумаги в Западной Европе составляло 560 тыс. т, в США — 670 тыс. т. Однако в связи с переходом на новые способы репродуцирования, использованием электронных систем для оплаты счетов и широким распространением персональных компьютеров темпы прироста данного вида продукции в 1990-е гг. снижаются в два раза по сравнению с 1980-ми.

²⁵ Пономарев О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом : обзорная информация // Целлюлоза, бумага и картон. — 1990. — № 12. — С. 34.

В конце 1980-х гг. в странах с развитой ЦБП, таких как США, Канада, Швеция, Финляндия, Австрия и Япония, работало 355 сульфитцеллюлозных заводов²⁶. Об угасании производства сульфитной целлюлозы свидетельствует тот факт, что на период 1990–1993 гг. расширение производства сульфитной целлюлозы намечалось только в Европе и всего на 15 тыс. т в год, в то время как производство сульфатной целлюлозы в мире должно было увеличиться на 9 млн т²⁷.

В эти годы растет мировое потребление газетной бумаги, и если в 1986 г. оно составило 29,3 млн т, то в 1991 г. — около 34 млн т. Нужно отметить, что в 1970-е гг. подавляющее большинство новых машин газетной бумаги устанавливалась в скандинавских странах, тогда как в 1980-е гг. 60% новых мощностей по производству газетной бумаги, или 1,65 млн т от общего количества 2,7 млн т, введены в эксплуатацию в странах континентальной Европы и Великобритании. Одной из причин, определяющей такое размещение производства, является рост использования макулатуры в композиции газетной бумаги.

В Северной Америке в 1989 г. кислую сульфитную варку применяют на 34 заводах общей производительностью 9000 т/сут. На 18 предприятиях средняя производительность одного предприятия — 100 тыс. т в год. Более крупные сульфитцеллюлозные предприятия входят в состав ЦБК. Объемы производства сульфитной целлюлозы относительно общего выпуска целлюлозы в разных странах и СССР приведены в таблице 3.

Таблица 3. Объемы производства сульфитной целлюлозы в различных странах²⁸ в 1989 г.

Страна	Производство, сульфитной целлюлозы, млн т	Удельный вес сульфитной целлюлозы в общем объеме выпуска, %
США	1,4	3,0
Канада	1,6	13,0
Швеция	0,75	12,5
Финляндия	0,15	3,0
Западная Германия	0,654	100,0
СССР	2,1	31,0

В ФРГ в 1989 г. сульфитную целлюлозу вырабатывают на восьми заводах, из них шесть применяют магниевое основание. При использовании других оснований: натриевого, аммониевого, кальциевого, — в большинстве случаев отработанные щелока сжигают, улавливают и повторно используют диоксид серы и производят пар. Таким образом, к началу 1990-х гг. появились предприятия,

²⁶ Татарчук В. И. Производство сульфитной целлюлозы в мире и в России. Состояние и перспективы // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее. — СПб., 1992. — С. 1–4.

²⁷ Hartler N. The future of sulphite pulping // Pulp Paper International magazine. — 1990. — Vol. 32, No 1. — P. 40–41.

²⁸ Неволин В. Ф. Целлюлозно-бумажная промышленность России // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta, 1992. — P. 52.

которые на то время можно было считать эталоном рационального применения сульфитного способа варки целлюлозы. Сульфитную варку совершенствуют и проводят периодическим и непрерывным способом. В связи с ужесточением требований по снижению выбросов в водоемы и атмосферу, особенно в странах Центральной Европы, в 1990-е гг. некоторые предприятия переходят на продленную делигнификацию (варка целлюлозы до более низких чисел Каппа), что снижает расход хлора на отбелку сульфатной и сульфитной целлюлозы, или полностью отказываются от применения хлора, внедряют более совершенное оборудование для промывки целлюлозы с повышением степени отбора щелоков до 98–99%. (Однако позднее от продленной делигнификации в варочном котле отказались, поскольку требуется дополнительный расход древесного сырья, и на ее замену пришла двухступенчатая кислородная делигнификация, которая исключила этот недостаток.) Предприятия с кислородно-щелочной делигнификацией имеют значительное преимущество перед другими производителями по удельным затратам на выпуск продукции, уровню выбросов и сбросов производственных загрязнений в окружающую среду.

К 1990 г. самый большой сектор производства «деловой» бумаги представляет производство копийной/множительной бумаги. В Западной Европе ее произведено 1,5 млн т, в США — 1,9 млн т. Почти вся бумага не содержит древесной массы. Хороший рост — 5% в год — обусловлен использованием копировальных устройств и персональных компьютеров²⁹.

С ростом производства и потребления бумаги появляется «макулатура» — сырье для получения вторичного волокна. Еще в 1800 г. англичанин Мэтью Коупс первым в Англии на практике переработал бумажные отходы, но промышленная переработка и облагораживание макулатуры для производства типографской и офсетной бумаги из макулатурного сырья появились только в начале XX столетия в США. Главной причиной начала промышленной переработки макулатуры в этой стране стал значительный рост производства и потребления бумаги на душу населения. В начале XX в. среднедушевое потребление в США составило 34 кг³⁰, в Германии — 24 кг, в России — 3 кг³¹. Через 90 лет, в 1991 г., душевое потребление бумаги и картона в развитых странах увеличилось почти в 10 раз! Так, в США оно составило 311 кг, в Швеции и Западной Германии — по 230 кг, Японии — 121 кг, Италии — 110 кг, Мексике и России — по 34 кг, Пакистане — 3 кг, Уганде — 0,4 кг³². Основным побудительным мотивом переработки макулатуры стало использование доступного и более дешевого источника волокна,

²⁹ Пономарев О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом : обзорная информация // Целлюлоза, бумага и картон. — 1990. — № 12. — С. 35.

³⁰ Спангенберг Р. Перспективы в области переработки макулатуры // Материалы научно-технической конференции PAPFOR-94 (Санкт-Петербург) : сборник пленарных докладов. — СПб., 1994. — С. 169.

³¹ Розен Б. Я. Чудесный мир бумаги. — М., 1986. — С. 116.

³² Slinn R. G. Pulp and Paper Industry Trends in the United States and the World // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta: 1992. — С. 17.

которое обеспечивало снижение затрат на производство бумажно-картонной продукции.

На рисунке 10 представлено увеличение годовой мощности одного технологического потока по производству сульфатной целлюлозы в мире с 1933 по 2017 г., которая выросла в 78 раз. Такой головокружительный рост производительности делает надежность одним из основных требований к системам управления технологическими процессами (АСУ ТП). Требуется не только автоматическое управление конечным элементом АСУ ТП — регулирующими клапанами, которых насчитываются тысячи единиц, но и автоматический мониторинг технического состояния и работоспособности оборудования. Трудно представить: если крупнейшая в мире бумагоделательная машина в Швеции (Stora Enso Kvarnsveden), имеющая ширину сетки 11,3 м, среднюю скорость 1850 м/мин, общую длину здания почти 300 м и производительность 430 000 т/год, вдруг остановится из-за неисправности на один час, какие астрономические потери это принесет производству!

Сегодня важнейшими инструментами при принятии решения руководством и персоналом являются приложения (средства) обработки информации, которая накапливается системами АСУ ТП. Поэтому она постоянно совершенствуется, чтобы системно повышать прибыльность производства. Еще одной из основных предпосылок успешного производства является анализ и обширное использование информации по качеству целлюлозы и бумаги. Все ключевые показатели качества вырабатываемой целлюлозы и бумаги измеряются датчиками или анализаторами непосредственно в потоке. Лабораторные анализы вручную проводят только для контроля датчиков и приборов.

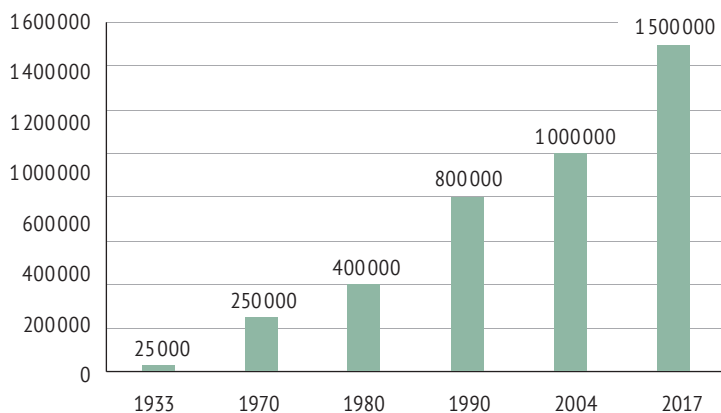


Рис. 10. Мощность по варке сульфатной целлюлозы одним технологическим потоком, т/год

Германия является ведущим производителем бумаги в Европе. Однако с производством целлюлозы ситуация выглядит иначе. Начиная с 1950-х гг. в Германии не был построен ни один целлюлозный завод. В 2003 г. на пяти сульфитцеллюлозных заводах Германии производили 850 000 т целлюлозы при годовой потребности внутреннего рынка примерно 4,5–5 млн т. И вот

в 2004 г. запущен первый сульфатцеллюлозный завод в Германии — Zellstoff Stendal GmbH с производственной мощностью 550 000 т белой целлюлозы. Инвестиции составили 1 млрд евро, срок окупаемости завода — 15 лет при жизненном периоде предприятия 30–40 лет³³. Нужно отметить, что в Германии установлены очень жесткие экологические стандарты на эмиссию вредных выбросов. Однако, по мнению немецких специалистов, технологический прогресс и постоянное ужесточение экологических норм по истечении 30–40 лет потребуют инвестиций в модернизацию оборудования, которые могут достичь уровня, превышающего уровень затрат на строительство нового предприятия.

В 2010 г. общее производство сульфитной целлюлозы в мире сократилось, но для повышения его экономической эффективности увеличились объем варочных котлов и суточная производительность варочного цеха сульфитной целлюлозы (табл. 4).

Таблица 4. Изменение суточного производства сульфитной³⁴ и сульфатной целлюлозы в XX в. и в начале XXI в. на передовых предприятиях

Показатель	Годы производства				
	1900	1930	1950	1980	2010
Объем сульфитных варочных котлов, м ³	50–180	50–180	70–280	70–340	160–400
Суточная производительность варочного цеха:					
– сульфитный, т/сут	15	50	300	500	600
– сульфатный, т/сут	–	70	500	1200	7000

Мировое производство сульфитной целлюлозы от общего производства волокон в 2000-е гг. составляет всего 4 %³⁵, из которых производство сульфитной целлюлозы для химической переработки занимает одну треть. Таким образом, сульфитное производство в XX в. проиграло конкурентную борьбу на рынке целлюлозы для массовых видов бумаг, но осталось в важном сегменте целлюлозы для специальных видов бумаги и для химической переработки в производстве более высоковязких (хлопкоподобных) видов продукции.

С появлением в 1989 г. интернета как глобальной информационной системы эпоха бумаги как носителя информации начинает затухать и начинается эпоха электронных носителей информации. В 1993 г. испанская ежедневная газета El Mundo del Siglo XXI одной из первых открыла сайт в интернете, который в дальнейшем стал самой популярной онлайн-газетой во всем испаноязычном

³³ Кожухова А. Крупнейший целлюлозный завод в Германии // ЛесПромИнформ : Журнал профессионалов ЛПК. — 2006. — №1(32). — URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1542> (дата обращения: 29.10.2021).

³⁴ Смирнов Р. Е. Производство сульфитных волокнистых полуфабрикатов. — СПб., 2010. — С. 43.

³⁵ Там же. — С. 2.

мире. По данным компании, сайт стал высокоприбыльным начиная с 2003 г. Не случайно известные в мире журналы TAPPI с 2012 и Nesweek с 2013 г. сменили бумажный формат на электронный.

Нет сомнения, что данная тенденция сохранится, поскольку выросло новое поколение людей, которые предпочитают получать и использовать информацию в электронном виде. И на это не может не реагировать рынок бумаги. Так, в сегменте газетной бумаги с докризисного 2007 г. мировое производство устойчиво снижается и за четыре года сократилось на 6,9 млн т, до 33,1 млн т, а в сегменте писчепечатных бумаг — на 8,7 млн т, до 111 млн т (данные RISI).

Производители чутко реагируют на падение в мире спроса на писчепечатные виды бумаг. Например, в Финляндии, являющейся крупнейшим производителем бумаги в Европе, закономерно снижается производство древесной массы, которая используется в композиции бумаг для повышения непрозрачности и улучшения печатных свойства листа. С начала века к 2019 г. объем ее производства сократился на 1,5 млн т. Однако в этот период времени в Финляндии производство целлюлозы выросло более чем на 1,2 млн т и в 2019 г. составило 8,32 млн т. Такие разновекторные тенденции в производстве волокнистых полуфабрикатов в Финляндии практически нивелировали потери суммарного объема выпуска целлюлозы и древесной массы.

По прогнозу, к 2030 г. потребность в писчепечатных видах бумаг уменьшится на 17,4 млн т. Однако при этом необходимо учитывать постоянное увеличение населения Земли: если в 2020 г. оно составляло 7,8 млрд человек, то к 2030 г. может достигнуть 8,5 млрд, а к 2050 г. — 9,7 млрд. Поэтому, по данным RISI, к 2030 г. ожидается рост продукции ЦБП с 440 до 570 млн т, или на 30%! В дальнейшем, к 2050 г., согласно данным Международного энергетического агентства (МЭА), мировое производство продукции ЦБП вырастет примерно до 700 млн т (минимальная оценка) или 900 млн т (максимальная оценка). Такое значительное увеличение мировых объемов производства ЦБП произойдет за счет Китая, Индии и других развивающихся стран.

Существующие сегодня тенденции спроса на продукцию ЦБП потребуют от производителей вывода на рынок новых товаров, удовлетворяющих современному и перспективному уровням потребительских свойств в сегменте сангигиенических бумаг, тары, упаковки и целлюлозы для химической переработки.

Производство бумаги в России

В Древней Руси основным материалом для письма до появления бумаги были береста, а также деревянные дощечки (церы), покрытые воском; использовали и очень дорогой пергамент. Так, летописец Нестор, инок Печерского монастыря, названный отцом российской истории, жил в XI в., и его летопись написана на выделанной телячьей коже (харатейный список). Более двух с половиной столетий русские торговые люди покупали бумагу за границей — в Китае, Персии, Средней Азии и Европе. Зачинателями бумажного дела в нашей стране стали

богемец Мартин Зауер и наш соотечественник Федор Савинов³⁶. Полагают, что в селе Копнино на реке Уче водяные колеса бумажной мельницы вертелись с 1550 г., но мельница была уничтожена пожаром.

Имеются свидетельства собственного производства бумаги — документы на так называемой грозненской бумаге. Уникальные бумажные листы, выпущенные в России не позднее 1565 г., хранятся в музеях.

Россия внесла свой вклад в усовершенствование технологий производства бумаги, в ряде случаев опережая своих западных конкурентов. В середине XVII в. русские изобретатели, работавшие на бумажной мельнице московского Печатного двора на реке Пахре, впервые в Европе применили металлическую оковку пестов толчеи и железную ступу. За границей оковку пестов железом предложил француз Понти только в 1746 г. Первая русская печатная газета «Ведомости» вышла в 1703 г. На смену ручной толчее пришли жернова, приводимые в движение приводом от водяного колеса, поэтому мануфактуры стали называть бумажными мельницами. В 1714 г. Петром I в Красном Селе под Петербургом основана бумажная мельница — одна из старейших в России (закрыта в 2003 г.), на которой впервые было выработано много новых для того времени видов бумаги. В первые годы существования мануфактура выпускала около 5000 стоп бумаги в год (приблизительно 40 т) и приносила прибыль около 25 тыс. руб. Хорошо сохранился лист бумаги, выработанной на Красносельской мельнице, с собственноручной надписью Петра I: «Сия бумага делана здесь на мельнице и можно ее сделать сколько надобно в государстве и тако не токмо во Францию подряжать»³⁷. В 1707–1714 гг. на Богородицкой и Красносельской мануфактурах были проведены первые опыты использования соломы для производства бумаги, а с середины XVIII в. в России было налажено производство из соломы низких сортов бумаги.

В начале XVIII в. большое значение имело внедрение для размолы тряпья нового размалывающего аппарата — ролла, который заменил малопродуктивную толчею. В 1718 г. русскими бумажниками были также созданы оригинальные роллы, представляющие собой деревянные ящики со сплошной крышкой. Размол производился ножами, закрепленными на вращающемся барабане (руле), и пачкой неподвижных ножей, установленных под барабаном (плашкой). Коллегия Адмиралтейства в 1719 г. опубликовала указ о продающихся сортах бумаги, в котором приводился перечень различных сортов бумаги: от больших листов для рисования до аптечной бумаги и даже картузной для боевых зарядов³⁸.

Для производства бумаги необходимо было сырье, поэтому в 1720 г. вышел указ Петра I, согласно которому в армии и на морском флоте производился сбор изношенных парусов, несмоленных канатов, веревок, разного тряпья, а люди,

³⁶ Производство бумаги в России и СССР // БУЗЕОН : музей бумаги. — URL: <https://buzeon.ru/history/ussr> (дата обращения: 29.10.2021).

³⁷ Цит. по: Богданов В. В. Истории обыкновенных вещей. — М., 1992. — С. 14.

³⁸ История бумажной отрасли в России // Europapier : Один из ведущих оптовых поставщиков бумажной продукции в Центральной и Восточной Европе и СНГ. — URL: https://europapier.ru/interesno_dlya_vas/art149.html (дата обращения: 29.10.2021).

у которых были ненужные полотняные вещи, могли по собственному желанию за денежное вознаграждение отдавать их в полицмейстерскую канцелярию. Позднее был введен налог, который крестьяне платили тряпьем. Для развития производства российской бумаги в 1721 г. Петр I обязал употреблять в делопроизводстве российскую бумагу и повысил пошлину на импортную бумагу. Его преобразования требовали широкой издательской деятельности. Так, в Петербурге в 1720 г. была учреждена типография при Александро-Невской лавре, в которой одними из первых книг были изданы «Букварь, или Первое учение отроком с Катехизисом» Феофана Прокоповича (1720), «Регламент, или Устав духовной коллегии» (1721), «Пращица против вопросов раскольников» епископа Питирима (1721), «Грамматика славенская» сочинения иеродиакона Феодора Максимова (1723) и др. В первой четверти XVIII в. в стране выпустили больше книг, чем за два предыдущих столетия (600 научных изданий и учебников). В частности, среди них распоряжениями Петра I дважды в России, в 1717 и 1724 гг., была издана «Книга мирозрения и мнение о небесно-земных глобусах и их украшениях» Христиана Гюйгенса, который рассматривал жизнь на Земле как космическое явление.

Русские мастера совершенствовали разные стороны процесса изготовления бумаги. Так, был предложен способ отбеливания бумажной массы на морозе — отбеливание озоном, а также использовали новые виды сырья. Асбестовая бумага была изготовлена в 1710 г., а бумага из водорослей — в 1760 г. К середине XVIII в. существовало 20 бумажных предприятий, которые выпускали бумагу не всегда надлежащего качества. Поэтому в 1744 г. Мануфактур-коллегией была создана комиссия для проверки качества российской бумаги. Убыточные мануфактуры были закрыты, а также был произведен расчет годового объема бумаги, в котором нуждалась Россия. Для повышения качества выпускаемой бумаги Сенат издал указ о клеймении бумаги. По указу Екатерины II от 29 декабря 1768 г. «для улучшения обращения денег, от которого зависит благоденствие народа, цветущее состояние торговли, и дабы отвратить тягость медной монеты, затрудняющий ее оборот и перевоз»³⁹ были введены к употреблению бумажные деньги, или ассигнации. На рисунке 11 представлена ассигнация на 25 рублей от 1778 г. Первый выпуск ассигнаций⁴⁰ составил 40 млн руб. достоинством в 100, 75, 50 и 25 рублей. Бумага для первых ассигнаций была получена из старых дворцовых салфеток и скатертей.

Первые ассигнации легко поддавались подделке, и уже в 1781 г. в городе Шклове были обнаружены поддельные ассигнации, часть из которых была привезена графами Зановичами из-за границы, а часть изготовлена в Шклове. В качестве борьбы с фальшивками стали применять более изощренные водяные знаки, появление которых было отмечено в Италии еще в 1275 г. в городке Фабриано.

³⁹ Пыляев М. И. Старый Петербург: История былой жизни столицы Российской империи. — М., 2005. — С. 137.

⁴⁰ Там же. — С. 137.

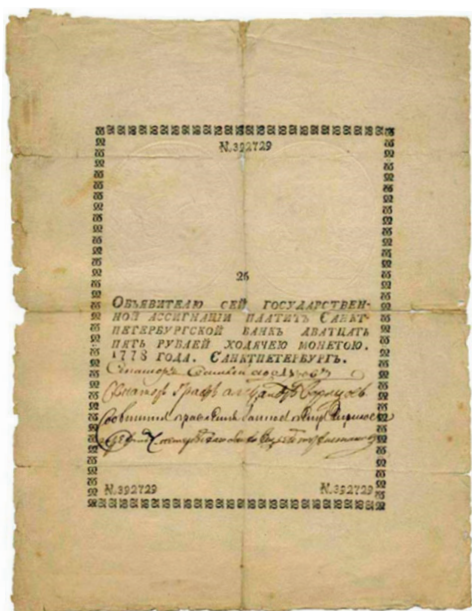


Рис. 11. Ассигнация на 25 рублей 1778 г.

К концу XVIII в. в России в 24 губерниях насчитывалось более 60 бумажных фабрик, по оснащению не уступавших европейским. На них выделяли бумагу методом ручного черпания. При ручном производстве единицей учета бумаги служила стопа, в которую складывали листовую бумагу в форме штабеля в количестве 480 листов. Дробной единицей стоп служила десть бумаги из 24 листов. Существовали три вида мануфактур: государственные, купеческие, а также помещичьи, которые дворяне открывали в своих имениях. До отмены крепостного права в 1861 г. они оставались наиболее массовыми. Многие работали круглые сутки и суммарно производили свыше 700 тыс. стоп разной бумаги в год (приблизительно 5000 т). Для получения бумаги

использовали отходы текстильного и канатного производств, солому, осоку, камыш, водоросли и т. д. Наиболее крупные фабрики находились в Москве, Петербурге, Калуге и Ярославле⁴¹. Заложенная в 1786 г. под Калугой Троицкая бумажная фабрика производила более 12 000 стоп бумаги в год (приблизительно 90 т). Фабрика была оснащена каменными хранилищами, где складировалось вторсырье для переработки, готовая бумага, а также располагались черпальня и паккамера. Импорт бумажной продукции в конце XVIII в. сократился вдвое, а с начала XIX в. Российская империя начинает экспортировать бумагу в Среднюю Азию, Персию, Китай⁴².

Первая треть XIX в. — время расцвета тряпичной бумаги. Из пуда тряпья получалась стопа хорошей книжной бумаги (480 листов). Цена такой меры достигала двух рублей. Император Александр I (1801–1825) ослабил цензуру, разрешил открытие частных типографий, что способствовало книгоизданию и росту выработки бумажной продукции. В 1801–1805 гг. в России напечатали 1304 книги на русском и 641 книгу на иностранных языках⁴³. Но в целом государственная политика в области бумагоделательного производства отставала. Несмотря на преимущество механизированного способа, до 1890-х гг. в России существова-

⁴¹ История бумаги в России // Портал о бумаге : сайт, посвященный бумаге, ее производству и использованию. — URL: <http://uniq-paper.ru/istoriya-bumagi-v-rossii/> (дата обращения: 29.10.2021).

⁴² История бумажной отрасли в России // Eurorapier : Один из ведущих оптовых поставщиков бумажной продукции в Центральной и Восточной Европе и СНГ. — URL: https://eurorapier.ru/interesno_dlya_vas/art149.html (дата обращения: 29.10.2021).

⁴³ История бумаги в России // Портал о бумаге.

ли предприятия с ручным отливом бумаги и картона. Причины — отсутствие собственного бумагоделательного машиностроения и низкий, по сравнению с европейским, спрос на продукцию. В начале XIX в. среднедушевой объем потребления бумаги в Англии составлял 1,54 кг, в России — 0,13 кг, а к началу XX в., через сто лет, в Англии — 27 кг, а в России — 2,4 кг.

В 1816 г. архангельский купец 3-й гильдии Иван Яковлевич Демидов в деревне Мечке на речке с тем же названием (25 верст от Архангельска) построил бумажную фабрику. Производство занимало площадь в 1 десятину 730 квадратных саженей (около 1,5 га)⁴⁴. Все строения — деревянные, одноэтажные, «в длину на 12, а поперек на 4,5 сажени», в которых размещались рольня, черпальня, клеильня, два амбара и три флигеля. Амбары использовались для сушки бумаги и «складки». В перечне производственных мощностей фабрики Демидова указано: «Число роллей — 4, котлов для варения сандалу и клею — 3, чанов для выпуска материи и черпания бумаги — 4, винтов выматывать бумагу — 2»⁴⁵. Сырьем для производства бумаги служило тряпье, которое собиралось в Архангельске и его окрестностях. Клей для бумаги готовили из обрезков кожи и оленьих рогов. Для окраски бумаги в синий цвет применяли сандал, который закупали за границей. Для отбеливания массы применялись квасцы.

Процесс изготовления бумаги начинали с сортировки тряпья — сортировали по роду материала, цвету, изношенности и т. д. Одновременно его «рушили» — разрезали по швам, отпарывая крючки и пуговицы. Разобранное тряпье трясли на столах с решетчатым дном, удаляя пыль и грязь. После сухой очистки тряпье передавалось в поварню, где его закладывали в большие металлические котлы и варили с золой и известью для удаления грязи и жира.

Далее вываренное тряпье загружали в ролл — деревянный ящик, внутри которого вращались два барабана, один из которых был усажен ножами для рубки тряпья, а второй — с сеткой, через которую отцеживалась грязная вода. Промытое и предварительно измельченное тряпье вынималось из ролла, повторно варилось в котлах с известью и уже окончательно очищенное закладывалось в другие роллы с более острыми ножами, где размалывалось на волокна, превращаясь в бумажную массу. При последнем размоле, если хотели получить цветную бумагу, добавляли краску, например для получения синей (сахарной) бумаги добавляли сандал.

Подготовленная бумажная масса сливалась в деревянные чаны, из которых она черпалась формой. Черпальщик брал форму обеими руками, опускал ребром в чан, а зачерпнув определенное количество массы, вынимал форму, сотрясал, распределяя массу по всей сетке, и передавал валяльщикам. Валяльщик, дав окончательно стечь воде, клал на образовавшийся слой бумаги кусок сукна и, опрокинув форму, вываливал сукно вместе с приставшей к нему бумагой на другой кусок сукна. Когда набиралось определенное количество сырых листов — кладка (до 180), их забирал выметчик и относил под пресс. Отжатые

⁴⁴ Минутя рубежи эпох, 1940–2010 : [книга-фотоальбом об Архангельском ЦБК]. — Архангельск, 2010. — С. 67.

⁴⁵ Там же. — С. 68.

листы бумаги становились настолько прочными, что их можно было снимать с сукна. Листы бумаги относили в сушильню, где их развешивали на веревках для просушки. Просушенная бумага связывалась в пучки и проклеивалась. Для проклейки бумагу опускали в раствор клея, сваренный из костей, и оставляли в этом растворе до тех пор, пока пропитаются все листы. После проклейки их разбирали и снова относили в сушильню. Далее листы сортировали, сгибали пополам, складывали в дести, стопы и запрессовывали. Перед прессованием продукцию высших сортов обрезали, а иногда золотили по краям. Окончательно приготовленная бумага упаковывалась в бумажные «сорочки» с фабричным ярлыком и в таком виде поступала в продажу.

В среднем за один рабочий день, продолжавшийся 10–12 ч, на одном черпальном чане получалось 10–12 стоп. На фабрике Демидова трудились один мастер, четыре подмастерья, двенадцать рабочих. Вырабатывалась бумага писчая (трех сортов № 1–3), сахарная синяя и белая, оберточная и чайная. Из отчета о работе фабрик и заводов Архангельской губернии за 1824 г. известно, что фабрика Демидова выработала писчей бумаги № 1 (самого высшего сорта) — 100 стоп, № 2 — 150 стоп, № 3 — 1200, бумаги сахарной белой — 150, синей — 150, оберточной — 100, чайной — 50. Годовое производство фабрики в 1824 г. составило более 13 т бумаги, а выработка на одного работника — 0,8 т. Большая часть доходов от продажи бумаги тратилась Демидовым на содержание фабрики. После смерти Ивана Яковлевича Демидова и его сына Афанасия Ивановича череда событий привела к тому, что фабрика попала в государственную казну и стала сдаваться в аренду на 15 лет. Уже в 1850 г. в особых сведениях арендатор фабрики Брант указал: «На фабрике в Мечке особых машин не имеется, выработка бумаги производится посредством устроенного в оной механизма, приводящегося в действие водою»⁴⁶. При фабрике работал один мастер — русский подданный — и от 15 до 25 чернорабочих вольнонаемных. Поскольку в 1865 г. желающих взять в аренду фабрику в Мечке уже не нашлось и она принадлежала государству, то с согласия государя Александра II она была выставлена на продажу «со всеми строениями без земли, в полном составе или по частям, за возможно выгодную для казны цену»⁴⁷. И в 1871 г. фабрика была разобрана «без остатка»⁴⁸. Так завершилась история ручного отлива бумаги в Архангельской губернии.

Но помимо ручного отлива бумаги в стране осуществляли ее машинное производство. Так, в 1816 г. в Петергофе появилась бумажная фабрика, на которой установили бумагоделательную машину по патенту Фурдринье. Строительством руководил англичанин Вестингаузен — представитель фирмы Донкина. В Экспедиции изготовления государственных ценных бумаг (будущий Гознак) в 1818 г. был разработан и применен способ получения высокохудожественных водяных знаков путем выштамповывания их на сетке. В Англии подобное изобретение запатентовали лишь через восемь лет. На Петергофской бумажной фабрике

⁴⁶ Минуя рубежи эпох, 1940–2010. — С. 68.

⁴⁷ Там же. — С. 69.

⁴⁸ Там же.

в 1835 г. была изобретена бумагорезательная машина, разрезающая ролевою бумагу на листы любого формата. И, наконец, нельзя не упомянуть изобретение А. Варгунина, благодаря которому в 1843 г. появилась машина для непрерывной проклейки и сушки ролевой бумаги. Выпуск бумагоделательного оборудования частично наладили на Александровском пушечном, Ижорском и других литейных заводах. Если в 1850 г. лишь на 50 фабриках России применялись бумагоделательные машины, то в 1885 г. количество таких фабрик возросло до 135.

В последнее десятилетие XIX в. русским специалистам принадлежит приоритет в открытии электролитической отбелки целлюлозы (С. Степанов, 1890) и изготовлении асбестового огнестойкого картона — уралита (А. М. Имшенецкий, 1895), высоко оцененного Д. И. Менделеевым и получившего широкое распространение в России и за рубежом.

Мощный импульс российская бумажная промышленность получила с упразднением крепостного права. Реформа 1861 г. отменила бесплатную рабочую силу, и дела на мелких фабриках пошли на убыль, тогда как представители крупного капитала строили большие предприятия. Так, первый в России целлюлозный завод по натронному методу варки из древесины был построен в 1875 г. в селе Кошели Боровичского уезда Новгородской губернии, но вскоре закрылся из-за нерентабельности производства (отсутствовала регенерация щелочи). Однако позднее, в конце 80-х гг. XIX в., на Дитятковской, Красносельской и Добрушской бумажных фабриках вырабатывали натронную целлюлозу, но из соломы. В 1883 г. появились Окуловский и Кувшиновский заводы, а в 1899 г. — Сокольский ЦБК, на котором установили шесть варочных клепаных котлов и первую бумагоделательную машину, которая вырабатывала 600 пудов (около 10 т) бумаги.

В 1900 г. в России (без Финляндии) действовало уже 12 сульфитцеллюлозных предприятий, на которых было установлено 58 варочных котлов общей емкостью 4660 куб. м и было произведено 30 тыс. т сульфитной целлюлозы, или 88 % общего выпуска целлюлозы в стране, который с учетом соломенной и натронной целлюлозы составил 34 тыс. т. Известно, что на одном из заводов было установлено 14 котлов объемом по 180 м³, остальные 44 варочных котла, установленные в стране, были в среднем небольшие, по 50 м³ каждый.

Нужно отметить, что если в 1861 г. выработали 35 тыс. т бумаги, то в 1900 г. выработка российской бумаги увеличилась в пять раз и составила 177,4 тыс. т⁴⁹, для ее производства использовали 34 тыс. т отечественной целлюлозы и 19 тыс. т произведенной древесной массы.

В конце XIX в. потребности жизни общества обусловили разнообразие сортов бумаги, которых насчитывалось более полусотни. Однако в целом объемы производства бумаги за рубежом в XIX в. превышали объем производства в России: в Англии — в четыре, а во Франции — в двенадцать раз. В 1913 г. объем выпуска бумаги составил 197 тыс. т, целлюлозы — 41 тыс. т и картона — 29 тыс. т⁵⁰.

⁴⁹ Смирнов В. С. От ёлки до газеты.

⁵⁰ СССР — могущественная индустриальная держава // Страна Советов за 50 лет : сборник статистических материалов. — Ч. III. — М., 1967.

Увеличение объемов производства бумаги требовало сырья, и в России в апреле 1913 г. под руководством финских инженеров начато строительство первенца отечественной целлюлозно-бумажной промышленности — Новолялинского целлюлозно-бумажного комбината. Строительство бумажной фабрики и древесно-массного производства продолжалось немногим более года, и в июне 1914 г. начался выпуск оберточной бумаги из дефибрерной древесной массы. Несмотря на производство древесной массы и целлюлозы, тряпье в российском бумажном производстве использовали до 30-х гг. XX столетия.

В июле 1914 г. началась Первая мировая война, и в результате военных действий прекратили работу Перновский, Рижский и Слокский сульфитные заводы, а оставшиеся сократили производство в 1,5 раза. В Петергофе в 1916 г. запустили первую бумагоделательную машину, которую изготовили на Петербургском литейном заводе. В августе 1917 г. состоялась первая варка сульфитной целлюлозы на Сухонском ЦБК (в 2006 г. после ряда переименований предприятию вернули историческое название Сухонский ЦБК). В 1917 г. в стране имелось всего шесть действующих сульфитных заводов производительностью 50 тыс. т. На промышленной площадке Новолялинского ЦБК планировалось строительство первого в России сульфатцеллюлозного завода. Оборудование для завода было куплено в Финляндии незадолго до 1917 г. Варочные котлы были вращающиеся, промывка целлюлозы должна была производиться в диффузорах мощностью до 10 т в сутки.

После Октябрьской революции почти треть целлюлозных предприятий оказалась вне пределов РСФСР. В 1921 г. осталось всего 137 фабрик. Численность занятых сократилась с 56 до 21 тыс. человек. Выпуск продукции упал почти в 10 раз⁵¹.

Выпуск целлюлозы из древесины по сульфатному способу варки начался на Новолялинском ЦБК только в ноябре 1922 г. Это был первенец сульфатцеллюлозного производства в СССР — об этом написано в первом номере отраслевого журнала «Бумажная промышленность» за 1922 г.⁵² Проект Котласского лесохимического и целлюлозно-бумажного комбината закончен в 1928 г., и он предусматривал выпуск 60 тыс. т бумаги из своих полуфабрикатов и 9 тыс. т беленой целлюлозы для отпуска «на сторону». Выработка на одного работающего в год при численности производственного персонала 1700 человек составила 53 т продукции. Из-за отсутствия средств, начала Великой Отечественной войны и по ряду других причин начатое строительство было законсервировано до начала 1950-х гг.

В 1922 г. на Сухонском ЦБК проводится первая реконструкция и впервые в стране освоена выработка беленой растворимой целлюлозы, столь необходимой для нужд военных предприятий. В это же время на предприятии строится первый в стране завод «Дубитель» по производству экстракта из отработанных щелоков.

⁵¹ Целлюлозно-бумажная промышленность (1917–1941) // История целлюлозно-бумажной промышленности России. — Архангельск, 2010. — С. 33.

⁵² Там же. — С. 34.

С 1 октября 1924 г. все без исключения бумажные фабрики и целлюлозные заводы были переведены на непрерывную работу, без остановок на выходные дни, что позволило поднять годовой фонд рабочего времени машин до 335–340 дней (более чем на 15 %). Предпринятые решительные организационно-технические меры позволили после окончания Гражданской войны в короткий срок восстановить сульфитные заводы, и довоенный уровень производства бумаги 190 тыс. т был достигнут в 1924–1925 гг. В 1926 г. фирмой Naskman & K^o (Финляндия) в поселке Советский (бывший Йоханнес) заложен первый камень в строительство Выборгского сульфитцеллюлозного завода производительностью 60 т/сут, а уже на следующий год, в 1927 г., завод (ныне ООО «Выборгская ЛК») выработал первую продукцию — сульфитную небеленую целлюлозу. Стране не хватало целлюлозы для производства бумаги, но в 1927 г. в Мытищах, Ленинграде, Могилеве и Клину уже строятся заводы по получению вискозных волокон, для производства которых нужна своя целлюлоза для химической переработки — вискозная. Поэтому целенаправленно возводятся специализированные предприятия по производству вискозной, кордной, ацетатной целлюлозы, для выпуска эфиров целлюлозы (например, натрий карбоксиметилцеллюлозы — NaКМЦ), что получило общее название «целлюлоза для химической переработки». Для оценки масштаба проделанной в стране работы можно уточнить, что в 1980-е гг. страна выпускает 700 тыс. т целлюлозы для химической переработки и занимает второе место в мире после США.

В период индустриализации страны построены крупные сульфитцеллюлозные заводы — в 1928 г. Сясьский (ныне ОАО «Сясьский ЦБК») и Балахнинский (ныне АО «Волга»). В 1928 г. объем выпуска бумаги составил 284 тыс. т, целлюлозы — около 86 тыс. т и картона — 47 тыс. т⁵³. В 1929 г. запущен Кондопожский завод (ныне АО «Кондопожский ЦБК»), в составе варочного цеха установлены три футерованных варочных котла по 130 куб. м каждый, в 1931 г. — Вишерский ЦБК (закрыт в 2007 г.), что позволило уже в 1928–1929 гг., увеличить выпуск сульфитной целлюлозы на 112 тыс. т, или более чем в два раза. Нужно отметить, что на период строительства Сясьский ЦБК по своей производственной мощности 100 т целлюлозы в сутки был одним из крупнейших заводов в Европе. В 1932 г. в стране выработали 525 тыс. т бумаги⁵⁴. В 1938 г. ленинградским Заводом бумагоделательного оборудования имени 2-й Пятилетки выпущена первая в Советском Союзе бумагоделательная машина шириной 2520 мм, которая установлена на Камском комбинате. В дальнейшем отечественные машиностроительные заводы освоили выпуск машин шириной 4200 мм и другого самого разнообразного бумагоделательного оборудования.

Интенсивное строительство заводов по сульфатному методу варки началось в 1930-е гг. после изобретения содорегенерационного котлоагрегата (СРК). Так, в 1935 г. запущена первая очередь сульфатцеллюлозного Соломбальского завода в г. Архангельске, в 1938 г. сдан в эксплуатацию Марийский ЦБК, в 1939 г. — один

⁵³ СССР — могущественная индустриальная держава. — С. 94.

⁵⁴ Целлюлозно-бумажная промышленность (1917–1941). — С. 36.

из крупнейших в Европе Сегежский ЦБК. В 1936 г. пущен в работу Камский ЦБК (ныне ЦБК «КАМА»); 28 августа 1940 г. Архангельский ЦБК (ныне АО «Архангельский ЦБК») получил первую сульфитную целлюлозу. В варочном цехе установлены три котла периодической варки целлюлозы немецкой фирмы «Бернингауз» емкостью по 280 м³ с проектной мощностью 72 тыс. т сульфитной целлюлозы в год⁵⁵. В 1940 г. объем выпуска бумаги составил 812 тыс. т, целлюлозы — 529 тыс. т и картона — 151 тыс. т⁵⁶. В марте 1941 г. завершено строительство Соликамского целлюлозно-бумажного комбината (ныне АО «Соликамскбумпром») и была получена первая продукция — сульфитная целлюлоза и оберточная бумага. Однако необходимо отметить предприятия, которые были известны ограниченному кругу лиц⁵⁷. Началась эта история в 1937 г., когда один из инженеров Центрального научно-исследовательского института бумажной промышленности (ЦНИИБ) Георгий Михайлович Орлов обратился к И. В. Сталину с письмом, в котором писал, что в случае войны хлопок будет нужен для обмундирования, и производить порох из хлопка — ненужная роскошь. Он предложил построить для производства пороха заводы специальной пороховой древесной целлюлозы в виде жгутика, получаемой сульфитной варкой из хвойных пород древесины. В конце 1940-х — начале 1941 г. появились пять номерных целлюлозных заводов: три завода в Архангельской области — завод № 1 в пос. Пуксоозеро, завод № 2 в пос. Кодино, завод № 5 в пос. Волошка; завод № 3 в Свердловской области в г. Туринске и завод № 4 — в Кировской области в пос. Созимский.

Помимо развития производственных мощностей сульфитной целлюлозы начиная с 1930-х гг. на крупных предприятиях стали строить цеха по переработке сульфитных щелоков для получения спирта, дрожжей, дубителей, лигносульфонатов. В предвоенные годы была создана собственная полуфабрикатная база и импорт сульфитной целлюлозы был прекращен. В 1941 г. в СССР произведено 500 тыс. т целлюлозы. Уже во время Великой Отечественной войны опыт создания номерных предприятий пригодился, и осенью 1942 г. на Архангельском комбинате открылся засекреченный цех, в котором производили целлюлозу для изготовления порохов (цех просуществовал до 1990-х гг.). Такую же сульфитную целлюлозу для порохов производил и Соликамский ЦБК. В июле 1942 г. АЦБК дал первую продукцию — технический спирт, необходимый для получения синтетического каучука, а в 1943 г. были получены первые кормовые дрожжи. В этом же году Архангельский ЦБК впервые вышел на международный рынок: «Экспортлесом» поставлены первые 416,8 т сульфитной целлюлозы, выработанной в труднейший для предприятия военный год⁵⁸. В 1945 г. на Архангельском ЦБК начат выпуск беленой целлюлозы, и в 1946–1947 гг. эта продукция

⁵⁵ Полвека в строю : Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (1940–1990). — Архангельск, 1990. — С. 13.

⁵⁶ Там же. — С. 14.

⁵⁷ Кряжев А. М. Леса в жизни человечества: вчера, сегодня, завтра // Аналитические обзоры литературной информации. — Вып. 1. — СПб., 2017.

⁵⁸ Полвека в строю : Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (1940–1990). — С. 15.

поставлялась на экспорт⁵⁹. В 1945 г. объем выпуска бумаги в стране составил 321 тыс. т, целлюлозы — 276 тыс. т и картона — 56 тыс. т⁶⁰.

После Великой Отечественной войны в короткие сроки было восстановлено производство сульфитной целлюлозы, в том числе на территории Калининградской области, которая вошла в состав СССР и на которой в 1946 г. возобновили работу Калининградский ЦБК-1 (ранее принадлежал немецкой фирме Feldmüller), Калининградский ЦБК-2 (бывший Кенигсбергский ЦБК), Советский ЦБЗ (бывший Тильзитский ЦБК) и Неманский ЦБК (ранее принадлежал немецкой группе Walldorf). К середине 1947 г. был восстановлен национализированный после войны завод компании Walldhof Ab, получивший название Приозерский целлюлозный завод. В 1947 г. состоялся пуск первой очереди завода, изготовившего первые тонны высококачественной вискозной целлюлозы. Приозерский ЦЗ, по проекту, был построен без очистных сооружений, и производственные стоки сбрасывались в реку Вуюксу. В 1948 г. на Архангельском ЦБК начат выпуск вискозной целлюлозы⁶¹. В период с 1940 по 1950 г. доля СССР в мировом выпуске целлюлозно-бумажной продукции оценивалась всего в 0,8–1,5 %⁶².

После войны, в 1951 г., завод «Энсо» переименован в Светогорский ЦБК (с 2009 г. — ЗАО «Интернешнл Пейпер»). Он выпускал вискозную целлюлозу. Благодаря восстановлению отечественных и новых предприятий, оказавшихся на территории СССР, уже во втором послевоенном, 1947 г. уровень довоенного производства был превзойден, а в 1950 г. производство бумаги в стране составило 1193 тыс. т, целлюлозы — 1100 тыс. т и картона — 292 тыс. т⁶³.

В 1952 г. на Сясьском ЦБК заработал первый в стране цех по получению ванилина из лигносульфонатов. По проекту, жидкие лигносульфонаты должны были поступать со всех сульфитных предприятий Северо-Западного региона страны. Такой подход обеспечивал комплексное использование древесного сырья, и, что очень важно, снижалось количество загрязнений, сбрасываемых в водоемы, поскольку из производственных стоков отбирались наиболее загрязняющие компоненты в виде товарных продуктов, и только оставшаяся часть в виде загрязнений сбрасывалась в водные бассейны. Так, степень загрязненности сточных вод органическими соединениями по показателю «биологическое потребление кислорода за пять суток» при наличии производства спирта и дрожжей снижается на 45–50 % по сравнению с исходными щелоками.

В 1955 г. в стране произведено 1741,5 тыс. т целлюлозы, 1847,8 тыс. т бумаги и 559,8 тыс. т картона. В 1959 г. вступил в строй Пермский целлюлозно-бумажный комбинат, вырабатывающий древесную массу. В этом году в СССР

⁵⁹ Там же. — С. 15.

⁶⁰ Там же.

⁶¹ Там же. — С. 16.

⁶² Краткая история бумаги и картона на примере нескольких примечательных событий и фактов // История развития ЦБП России. — URL: https://club.cnews.ru/blogs/entry/kratkaya_istoriya_bumagi_i_kartona_na_primere_neskolkih_primechatelnyh_sobytij_i_faktov (дата обращения: 12.12.2021).

⁶³ СССР — могущественная индустриальная держава. — С. 94.

выходило 10 603 наименования газет с разовым тиражом 62,3 млн экземпляров и 908 наименований журналов с годовым тиражом 515 млн экземпляров⁶⁴.

В 1960 г. впервые в истории человечества советским ученым удалось сфотографировать обратную сторону Луны, и это оказалось возможным благодаря специальной электрохимической бумаге, созданной отечественными специалистами во ВНИИБ (Ленинград). В этом году весь объем выпуска бумаги составил 2334 тыс. т, целлюлозы — 2282 тыс. т и картона — 893 тыс. т⁶⁵. В стране строятся новые крупные сульфитцеллюлозные предприятия и модернизируются существующие. Так, 10 октября 1961 г. Котласский ЦБК (ныне филиал АО «Группа “Илим”» в г. Коряжме) вступил в строй действующих предприятий ЦБП по выпуску вискозной целлюлозы с проектной производительностью по варке 152 тыс. т в год и товарной вискозной целлюлозы — 110 тыс. т. Завод состоит из двух технологических потоков. Варочный цех оборудован десятью варочными котлами шведской фирмы КМВ. Котлы биметаллические емкостью по 320 куб. м. В сушильном цехе установлено два пресспата (сушильные машины) производительностью по 150 т/сут; обрезная ширина полотна 4200 мм, рабочая скорость 37–210 м/мин⁶⁶. Выпускаемая продукция — целлюлоза для химической переработки, обладающая большой химической чистотой и рядом особых физико-химических свойств, — предназначена для производства вискозной текстильной нити (штапеля, шелка, корда), пленок, пластмасс, натрия КМЦ, а также бумаги фильтровальной, изделий бытового и санитарно-гигиенического назначения.

Судьбоносным стало постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по ликвидации отставания целлюлозно-бумажной промышленности» (7 апреля 1960 г.), которое определило перспективу развития ЦБП в стране. Так, в 1964 г. построен один из крупнейших лесопромышленных комплексов — Братский ЛПК (первая очередь — 125 тыс. т кордной целлюлозы), в 1966 г. — Байкальский ЦБК (100 тыс. т кордной целлюлозы холодного облагораживания и 100 тыс. т вискозной целлюлозы), а в 1969 г. — Сыктывкарский ЛПК. Среди всех предприятий ЦБП, вновь создаваемых в Сибири и на Дальнем Востоке, Братский ЛПК выделялся не только масштабами, но и разнородностью по профилю объединяемых предприятий, в частности в организации производства целлюлозы для выработки кордного волокна. Его первый технологический поток по выпуску 125 тыс. т небеленой целлюлозы в год был сдан в эксплуатацию 31 декабря 1965 г. В 1967 г. на двух технологических потоках целлюлозного производства № 1 освоен выпуск кордной целлюлозы. В том же году на первой очереди комбината была выпущена следующая продукция: сульфатная беленая целлюлоза, тарный картон, талловая канифоль, кормовые белковые дрожжи, скипидар, жирные кислоты.

В 1965 г. на Пермском ЦБК были построены вторые в стране на предприятиях ЦБП очистные сооружения по очистке сточных вод.

⁶⁴ Смирнов В. С. От ёлки до газеты. — С. 43.

⁶⁵ СССР — могущественная индустриальная держава. — С. 94.

⁶⁶ Котласский целлюлозно-бумажный комбинат : 40 лет лидерства. — Архангельск, [2001]. — С. 98.

Амурский целлюлозно-картонный комбинат пущен в 1967 г. для производства 100 тыс. т вискозной целлюлозы. На заводе смонтирован первый отечественный реактор для проведения кислородно-щелочной делигнификации, который так и не был запущен в постоянную эксплуатацию. Помимо строительства новых предприятий в «чистом поле», проходило строительство новых производств на уже действующих промышленных площадках. Так, на Кондопожском ЦБК в варочном цехе к существующим трем футерованным котлам по 130 куб. м дополнительно введены четыре биметаллических варочных котла по 160 куб. м, а затем еще шесть таких же биметаллических котлов. На Котласском ЦБК в 1965 г. на второй очереди комбината запущено производство нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы в составе двух технологических потоков проектной производительностью 117 тыс. т/год. Варка технологической щепы из лиственных пород древесины производилась на двух установках непрерывной варки типа «Пандия» японской фирмы «Хитачи-Зосен»⁶⁷. Также запущено производство сульфатной целлюлозы. В составе варочного цеха два технологических потока. Проектная мощность первого, вырабатывающего целлюлозу для мешочной бумаги, составляла 430 т/сут, выход целлюлозы — 50 %. Проектная мощность второго потока (целлюлоза для картона и бумаги для гофрирования) составляет 450 т/сут, выход целлюлозы — 55 %. Варка производится в двух установках непрерывной варки типа «Камюр».

В 1967 г. на Архангельском ЦБК внедрена биологическая очистка стоков. Интенсификация очистки на внеплощадочных сооружениях достигается за счет принудительной подачи воздуха, питательных солей, культивирования активного ила, состоящего из различного рода микроорганизмов. Микроорганизмы активного ила пожирают органические вещества, содержащиеся в стоках, окисляют их до углекислого газа и воды, и их вредность по БПК снижается на 94–96 %. Сточные воды после очистки, поступая в реку, потребляют кислород уже только на окисление остаточных загрязнений, содержащихся в них.

В 1968 г. на Архангельском ЦБК введена в строй вторая очередь комбината — завод сульфатной целлюлозы для производства картона мощностью 318 тыс. т в год по варке и цех по производству из нее на двух картоноделательных машинах (КДМ) тарного картона — крафтлайнера и флутинга. С запуском этого производства Архангельский ЦБК стал крупнейшим многопрофильным предприятием страны, не имеющим себе равных по мощности в Европе. Впервые началось столь масштабное производство тарного картона.

До начала 1970-х гг. на варку целлюлозы использовалась исключительно древесина хвойных пород, и лиственная древесина только подмешивалась к хвойному сырью, что ухудшало качество вырабатываемых целлюлозных полуфабрикатов. С другой стороны, наличие значительных запасов лиственных пород древесины требовало рационального их использования. Для достижения поставленной цели были построены производства сульфатной беленой целлюлозы из лиственных пород в смеси березы и осины: в 1972 г. на третьей очереди Котласского ЦБК, в 1975 г. на третьей очереди Архангельского ЦБК,

⁶⁷ Там же.

а в 1985 г. — на второй очереди Светогорского ЦБК (с 2009 г. ЗАО «Интернешнл Пейпер»). На Братском ЛПК с 1971 по 1975 г. были введены дополнительные мощности, позволявшие комплексно перерабатывать лиственную древесину: были приняты в эксплуатацию заводы сульфатной вискозной и сульфатной беленой целлюлозы, канифольно-экстракционный, лесопильно-деревообрабатывающий, древесноволокнистых плит и фанерный. Общая мощность заводов комбината по варке целлюлозы была доведена до 1 млн т/год. Однако качественную вискозную целлюлозу на варочной установке непрерывного действия, которая была смонтирована на втором целлюлозном производстве, получить не удалось из-за явления карамелизации сит варочного котла. Растворенные на стадии предгидролиза в кислой среде полисахариды древесины при переходе на стадию щелочной варки выпадали в осадок на ситах варочной зоны, препятствуя отбору щелока из котла. В связи с этим в начале 1980-х гг. было организовано производство беленой целлюлозы для бумаг.

Так, в 1975 г. на Архангельском ЦБК пущена в эксплуатацию третья очередь комбината — завод беленой сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины мощностью 285 тыс. т по варке. В строй вошло, по существу, целое новое предприятие, по техническому уровню соответствующее лучшим мировым достижениям того времени: варочные и промывные установки шведской фирмы КМВ. Производительность варочной установки «Камюр» — 285 тыс. т/год⁶⁸. Однако три года работы показали недостаток хвойного сырья, и возникла необходимость перехода на переработку лиственной древесины. Уже через полгода коллектив завода выпускал не просто беленую лиственную целлюлозу марки ЛБ-0, но и стал производить продукцию высшей категории качества.

Некоторые производители целлюлозы в СССР располагались вне лесных регионов и должны были работать на юге страны на камышовом сырье (в Астрахани, Кзыл-Орде, Измаиле). В декабре 1962 г. Астраханский ЦКК (в 1995 г. предприятие остановлено) вступил в строй с проектной мощностью по варке полуцеллюлозы 73 тыс. т/год. Однако из-за неграмотной заготовки камыша, стебли которого не срезали, а с корнем выдергивали, сырьевая база камыша была загублена и пришлось доставлять древесное сырье из сибирского региона. Это отразилось на судьбе предприятия в 1995 г., когда оно было остановлено из-за роста транспортных тарифов на древесное сырье. Часть производственных мощностей комбината ныне использует ООО «Астраханская фабрика тары и упаковки».

В 1972 г. началась реконструкция Светогорского ЦБК, и по завершении реконструкции он стал на самом современном оборудовании выпускать ацетатную и вискозную целлюлозу, лучшую в стране и востребованную в мире. По проекту, сульфитные щелока на натриевом основании должны сжигаться вместе с сульфатными — так называемая перекрестная регенерация химикатов. В этом же году на Красноярском ЦБК внедрено сжигание отработанного сульфитного щелока на магниевом основании с регенерацией химикатов,

⁶⁸ Полвека в строю : Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (1940–1990). — С. 18.

в 1982 г. — на Светлогорском ЦБЗ (ныне ОАО «Светлогорский ЦБК, Республика Беларусь). К сожалению, на обоих заводах возникли сложности с отечественным магний-регенерационным котлоагрегатом (МРК) 300 т а. с. в./сут и технология регенерации не была доведена до логического конца по ряду проектных и конструктивных причин⁶⁹.

В 1975 г. объем выпуска бумаги составил 5215 тыс. т, целлюлозы — 6815 тыс. т и картона — 3368 тыс. т⁷⁰. В 1980 г. построен последний «в чистом поле» комбинат — Усть-Илимский ЛПК. На Сыктывкарском, Братском и Усть-Илимском комбинатах был сделан упор на комплексную переработку древесины: механическую с выпуском пиломатериалов, фанеры и химическую с производством целлюлозно-картонной продукции, продуктов лесохимии. На этих комбинатах монтировались установки гидролизно-дрожжевого производства. На Братском ЛПК планировалась переработка предгидролизатов от производства вискозной и кордной целлюлозы (предгидролиз — технологическая операция с целью удаления из щепы гемицеллюлоз методом кислотного гидролиза и с последующей варкой щепы по сульфатному способу). В СССР в 1980 г. объем выпуска бумаги составил 5288 тыс. т, целлюлозы 7123 тыс. т и картона 3445 тыс. т⁷¹.

Еще в 1970-е гг. с ростом в стране объемов производства и потребления продукции ЦБП был объявлен всесоюзный сбор макулатуры. Инициатива принадлежала Г. М. Орлову — председателю Государственного комитета Совета Министров СССР по лесной, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей промышленности и лесному хозяйству, заместителю председателя Госснаба СССР. К середине 70-х гг. на складах Госснаба СССР накопилось уже более полумиллиона тонн макулатуры, требовавшей дальнейшей переработки, и Г. М. Орлов предложил открыть пять предприятий по переработке макулатуры — в Ленинграде, Набережных Челнах, Киеве и Алексине, которые и стали строить в 1980-е гг.

Для снижения сброса загрязнений промышленного стока в 1981 г. на Кондопожском ЦБК пущена в работу вакуум-выпарная установка фирмы «Розенлев», предназначенная для упаривания сульфитных щелоков с получением жидких товарных лигносульфонатов технических (ЛСТ). Начиная с 1986 г. ступенчатая сульфитная варка на натриевом основании внедрена на Соликамском, Томаринском и Чеховском ЦБК⁷². Из-за отсутствия очистных сооружений в 1986 г. было закрыто производство вискозной целлюлозы на Приозерском ЦЗ, и завод перепрофилировали на производство мебели. В 1987 г. на предприятиях

⁶⁹ Они Л. А. Анализ ошибок, допущенных в ходе внедрения отечественных систем регенерации отработанных щелоков на магниевом основании // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее. — СПб., 1992. — С. 40–42.

⁷⁰ СССР — могущественная индустриальная держава. — Ч. III. — М., 1967. — С. 94.

⁷¹ Развитие ЦБП в 60–80-е годы XX в. Достижения и ожидания // История целлюлозно-бумажной промышленности России. БумПром. — Архангельск, 2008. — С. 59.

⁷² Ефремов Ю. Н. Актуальные направления сохранения сульфитного способа производства волокнистых полуфабрикатов в России // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее. — СПб., 1992. — С. 8.

РСФСР был достигнут максимальный выпуск целлюлозы, который составил свыше 8,8 млн т (3-е место в мире после США и Канады), а максимальный объем производства бумаги (5334 тыс. т) и картона (3244 тыс. т) пришелся на 1988 г. (4-е место в мире после США, Канады и Японии). Сравнение ЦБП СССР с другими ведущими странами представлено в таблице 5⁷³.

В 1988 г. закрылся Лясельский ЦБЗ (Республика Карелия), производивший бумагу из древесной массы. В этом же году на Камском ЦБК (ЦБК «Кама») построен новый цех по производству ТММ. Его проектная мощность — 50 тыс. т ТММ в год, отбелка производится перекисью водорода; оборудование поставлено фирмой Mitsubishi (Япония); в 1990 г. производство древесной массы уже составило 90 тыс. т. В 1988 г. завершена модернизация Выборгского ЦБК, и он стал самым современным предприятием по производству сульфитной целлюлозы в стране с производственной мощностью 63 тыс. т. На Архангельском ЦБК на производстве сульфитной целлюлозы началась коренная реконструкция, и в первую очередь осуществлен перевод варочных котлов с выдувки на вымывку целлюлозы⁷⁴.

В СССР в 1989 г. сульфитная целлюлоза производится на 34 заводах. В 1991 г. общее производство целлюлозы в Российской Федерации составило 10 млн т, из которых 2,3 млн т — сульфитная целлюлоза (23%; 24,7% от общемирового производства сульфитной целлюлозы). В России такую целлюлозу выпускают 30 заводов, из них 14 производят более 150 тыс. т/год, тогда как остальные 16 предприятий находятся значительно ниже оптимальной мощности, в среднем 12,5 тыс. т/год. Мировая практика показала, что для утилизации сульфитных щелоков необходимо магннеевое основание варочных щелоков с установками по их сжиганию и регенерации химикатов, благодаря чему бисульфитный способ варки становится практически экологически чистым. В 1989 г. подписан контракт с австрийской фирмой «Фест Альпине» и финскими «Сунд» и «Альтрем» на их участие в реконструкции сульфитного производства на Архангельском ЦБК. Однако наступил распад СССР, и переход к рыночной экономике привел к резкому сокращению объема производства продукции отрасли и краху всех планов технического перевооружения.

Доля РСФСР в общем объеме производства продукции ЦБП в СССР была всегда определяющей, и в 1988 г. на предприятиях, расположенных на территории РСФСР, объем производства целлюлозы составил 95,4%, бумаги — 84,37%, картона — 72,2% от производства этой продукции в СССР. В таблицах 5–9 представлена структура и характеристика основных фондов ЦБП в СССР и Российской Федерации⁷⁵.

⁷³ Пономарев О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом. — С. 2.

⁷⁴ Полвека в строю : Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (1940–1990). — С. 20.

⁷⁵ Неволин В. Ф. Целлюлозно-бумажная промышленность России. — Р. 233–240.

Таблица 5. Некоторые показатели целлюлозно-бумажного производства в ведущих странах мира в 1988 г.

Страна	Население, млн чел.	Количество предприятий		Мощность предприятий, тыс. т/год		Потребление бумаги и картона на душу населения, кг/год	Производство продукции, тыс. т/год	
		бумажных и картонных фабрик	заводов по производству волокнистых полуфабрикатов	бумажных и картонных фабрик	заводов по производству волокнистых полуфабрикатов		бумаги и картона	волокнистых полуфабрикатов
США	245,4	548	217	72 862	56 860	317,0	69 477	55 530
Канада	26,1	109	36	17 028	25 021	236,4	16 638	23 679
Япония	122,4	489	60	27 143	13 176	204,5	24 624	10 415
ФРГ	60,7	174	35	11 397	2 414	203,7	10 576	2 358
Швеция	8,3	55	55	8 630	10 870	242,0	8 161	10 307
Финляндия	4,9	46	47	9 095	9 545	204,0	8 653	9 001
Франция	55,8	146	21	6 550	2 475	142,2	6 313	2 190
Великобритания	56,8	92	7	4 676	466	163,5	4 295	421
СССР	283,7	173	54	11 494	11 000	35,3	10 750	10 065
В мире	5110,4	4185	1160	245 126	172 361	43,8	226 329	160 551

Примечание: В 1988 г. в СССР достигнута максимальная выработка бумаги и картона.

Таблица 6. Структура основных фондов по производству целлюлозы и полуцеллюлозы в СССР, Российской Федерации и других республиках в 1990 г.

№ п/п	Показатель	Варочные котлы				
		Всего	Периодические		Непрерывные	
			сульфитные	сульфатные	«Камюр»	«Пандия»
1	СССР	370	210	117	25	18
2	Российская Федерация	345	196	110	25	14
3	Другие республики	25	14	7	–	4

Таблица 7. Структура основных фондов по производству бумаги и картона в 1990 г.

Наименование оборудования	СССР	Российская Федерация	Доля РФ от общего числа машин, %
Всего машин, в т. ч.:	547	407	74
– бумагоделательные машины	382	286	75
– картоноделательные машины	107	72	67
– сушильные машины	58	49	84

Таблица 8. Характеристики мощности заводов по производству сульфатной и сульфитной целлюлозы в Российской Федерации в 1991 г.

Мощность завода	Число заводов	Доля от общего числа заводов, %	Объем производства продукции по проекту, тыс. т	Доля от общего объема продукции, %
Сульфатные заводы				
– до 50 тыс. т	3	13	112,9	2
– до 100 тыс. т	2	9	187,6	3
– до 200 тыс. т	5	22	691,0	12
– до 300 тыс. т	6	26	1602,0	28
– свыше 300 тыс. т	7	30	3198,7	55
Всего по сульфатным заводам	23	100	5792,2	100,0
Сульфитные заводы				
– до 35 тыс. т	7	24	255,1	8
– до 65 тыс. т	8	28	344,5	11
– до 150 тыс. т	9	31	1253,1	40
– свыше 200 тыс. т	5	17	1259,5	41
Всего по сульфитным заводам	29	100	3112,2	100

Таблица 9. Распределение парка бумаго- и картоноделательных машин СССР по скоростям в 1990 г.

Группы машин по скоростям, м/мин	Количество бумагоделательных машин, шт.	Количество картоноделательных машин, шт.
До 100	169	73
От 101 до 300	165	27
От 301 до 500	20	7
От 501 до 800	24	–
От 801 до 1000	4	–
Всего	382	107

В 1990–1991 гг. произведено 9,2 млн т первичных волокнистых полуфабрикатов и выработано 7,2 млн т бумаги и картона, при выработке которых использовано около 1,8 млн т макулатуры, а доля вторичного волокна составляет 25 %. В период с 1992 по 1998 г. объемы производства продукции ЦБП России снизились более чем в два раза. Наибольшее сокращение производства бумаги произошло в 1994 г., когда по сравнению с уровнем 1987 г. объем выработки составил 42,2 %. Наименьшее количество картона было произведено в 1996 г., по сравнению с уровнем 1987 г. объем производства составил лишь 29,2 %.

Объем производства целлюлозы этого периода составлял 35–37 % к уровню производства 1987 г. С 1999 г. наблюдается достаточно динамичный прирост объемов производства всех видов продукции ЦБП, и наибольший объем

продукции был произведен в 2006–2008 гг. Однако по сравнению с уровнем производства целлюлозы в РСФСР в 1987 г. (8,8 млн т) объем производства не превышал по варке целлюлозы 68 %, по бумаге — 78 %. И только по производству картона уровень 1988 г. был превзойден более чем на 17 %.

В России макулатура используется в производстве около 70 видов бумаги и картона. Основная часть макулатуры (до 75 %) используется для производства туалетной бумаги и картона (коробочного, тарного, гофрокартона). До 20 % макулатуры используется в производстве кровельных материалов. На территории России имеются 27 предприятий, использующих макулатуру для производства бумаги и картона, 14 предприятий используют макулатуру в производстве кровельных материалов. Наиболее крупными потребителями макулатуры в России являются: Санкт-Петербургский КПК АО «КНАУФ ПЕТРОБОРД» (до 18 %), Набережно-Челнинский КБК (10,4 %), Алексинская КФ (12 %), Ступинская КФ (9,8 %), Балахнинский ЦКК (5,5 %), Суоярвская КФ (4,2 %) ⁷⁶.

Экономический кризис 2008 г. негативно отразился на ЦБП. Наибольшее влияние кризиса сказалось на работе ЦБП в первой половине 2009 г., что привело к снижению объема производства за год по варке целлюлозы на 7,2 %, по бумаге — на 1,3 % и по картону — на 6,5 %. В 2010–2018 гг. наблюдается рост объема производства продукции ЦБП, и только в 2018 г. годовое производство целлюлозы всех видов и древесной массы составило 8,6 млн т, что практически достигло уровня 1987 г. (8,8 млн т). В России с 2013 по 2019 г. производство бумаги и картона возросло на 1,5 млн т и в 2019 г. составило 9,13 млн т, что на 0,5 млн т больше, чем в 1988 г., на пике производства в советскую эпоху — 8,58 млн т ⁷⁷.

Начиная с середины 1990-х гг. все предприятия, расположенные на острове Сахалине, выработав свой ресурс и не найдя средств на модернизацию, стали останавливать производство: Холмский ЦБЗ (построен в 1919 г., производство бумаги остановлено в 1993 г.), Макаровский ЦБЗ, Долинский ЦБЗ (основан в 1920-е гг.), Чеховский ЦБЗ (построен в 1922 г., с 1996 г. предприятие было официально законсервировано), Поронайский ЦБЗ и Томаринский ЦБЗ, а также Южно-Сахалинский ЦБК, Углегорский ЦБЗ (ликвидирован в 2006 г.). Исключением в этом перечне остается Балахнинский ЦБК (ныне АО «Волга»), на котором в 1997 г. остановлена сульфитная варка, но взамен производства сульфитной целлюлозы построили производство ХТММ. В 2001 г. закрылся Калининградский ЦБК-1. Российская Федерация в 2002 г. произвела целлюлозы и бумаги на 50 % меньше, чем произведено в СССР еще в 1988 г., соответственно 5,6 млн т целлюлозы и 5,9 млн т бумаги. В 2007 г. закрыли Вишерский ЦБЗ. В 2008 г. закрылось производство вискозной целлюлозы для химической переработки на Котласском ЦБК. В 2011 г. закрылся Калининградский ЦБК-2,

⁷⁶ Гаев Ф. Ф. Использование макулатуры в производстве картоне и бумаги // Отходы.ру : Отраслевой портал. — 2008. — 13 нояб. — URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=315> (дата обращения: 29.10.2021).

⁷⁷ Лахтиков Ю. ЦБП России: состояние и перспективы // ЛесПромИнформ : Журнал профессионалов ЛПК. — 2013. — № 3(93).

а в 2012 г. остановлено производство на Красноярском ЦБК (последнее название — Енисейский ЦБК). В таблице 10 представлены предприятия по производству сульфитной и сульфатной целлюлозы для химической переработки, которые прекратили свою работу⁷⁸.

Таблица 10. Сульфитная и сульфатная целлюлоза для химической переработки и ее производители в СССР⁷⁹

Целлюлоза для химической переработки	Производитель, год окончания работы	Назначение
Сульфитная целлюлоза		
Вискозная	Приозерский ЦЗ — 1986 г.	Вискозное волокно, текстильная нить (шелк)
	Светогорский ЦБК — 1995 г.	
	Котласский ЦБК — 2008 г.	
	Амурский ЦКК — 1994 г.	
Для Na-КМЦ	Светогорский ЦБК — 1995 г.	Na-карбоксиметилцеллюлоза
Ацетатная	Светогорский ЦБК — 1995 г.	Ацетаты целлюлозы
Сульфатная предгидролизная целлюлоза		
Холодного облагораживания	Байкальский ЦБК — 2013 г.	Техническая нить (корд)
Горячего облагораживания	Братский ЛПК — 2005 г.	Высокомодульные волокна
Вискозная целлюлоза	Байкальский ЦБК — 2013 г.	Вискозные волокна

В результате закрытия предприятий по производству целлюлозы для химической переработки страна лишила свою химическую промышленность отечественного целлюлозного сырья для производства вискозного волокна, текстильной нити (шелк), Na-карбоксиметилцеллюлозы и ацетатов целлюлозы.

О судьбе Байкальского ЦБК. Комбинат прекратил свою работу 25 декабря 2013 г., а 28 декабря 2013 г. Президент России Владимир Путин подписал распоряжение о создании на территории закрывшегося комбината экспоцентра «Заповедники России». Безусловно, строить завод на озере Байкал, жемчужине Сибири, было нельзя. Но завод построили, и давайте посмотрим, как он работал. Так, по данным, опубликованным в 1993 г. О. М. Кожовой и А. М. Беймом⁸⁰, которые десятилетие проводили планомерные исследования и собирали информацию о вкладе Байкальского ЦБК в загрязнение озера Байкал, влияние

⁷⁸ Аввакумова А. В. Отбелка целлюлозы для химической переработки // Технология целлюлозно-бумажного производства. — Т. 3, ч. 3. — СПб., 2012. — С. 65.

⁷⁹ Там же.

⁸⁰ Кожова О. М. Современное состояние экосистемы Байкала // Экологический мониторинг Байкала. — М., 1993. — С. 109.

ЦБК на озеро по разным ингредиентам составляло от сотых долей процента до 10% от общего их поступления, которое принято за 100% (например, в мае 1986 г. от комбината поступало минеральных веществ 10,7%, органических веществ — 4,8%, взвешенных веществ — 0,03%).

После закрытия Байкальского ЦБК экологическая обстановка на озере не могла улучшиться в силу очевидных причин: отсутствие очистных сооружений в поселках вокруг Байкала, отсутствие нормально работающих очистных сооружений в городах на реках, впадающих в Байкал, например на реке Селенге, в г. Улан-Удэ; трансграничный перенос выбросов с Иркутского и Братского алюминиевых заводов и т. д., то есть то, что и было опубликовано еще в 1993 г. Таким образом, после закрытия Байкальского ЦБК и сокращения его загрязняющего воздействия на ~ 10% начал разрабатываться план предотвращения сброса оставшихся 90% загрязнений в озеро Байкал — с чего и надо было начинать. Нужно отметить, что еще в 1987 г. в СССР была предпринята попытка построить вместо Байкальского ЦБК завод-дублер на площадке Усть-Илимского ЛПК, но не хватило средств. С закрытием производства целлюлозы для химической переработки на Братском и Байкальском комбинатах страна лишилась наукоемких производств, причем Байкальский ЦБК входил в тройку предприятий в мире, которые были способны получать показатель альфа-целлюлозы (химической чистоты) более 97%.

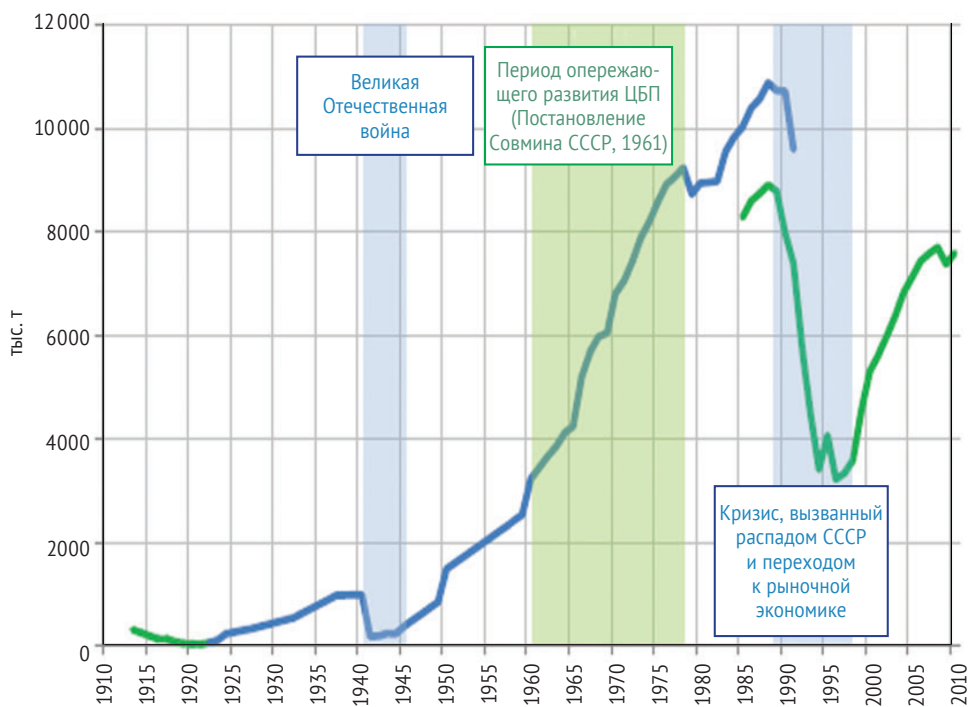


Рис. 12. Производство бумаги и картона в России и СССР в 1913–2011 гг., тыс. т (по данным РАО «Бумпром»)

Однако в мире есть другие примеры. В Австрии фирма Lenzing, расположенная вблизи курортного местечка, является одним из крупнейших в Европе производителем целлюлозы для химической переработки по сульфитному способу варки. Закрытие производств вискозной целлюлозы в РФ стимулировало фирму к 2010 г. производить 235 тыс. т вискозной целлюлозы, а когда-то на этом заводе выпускали всего 30 тыс. т⁸¹. В качестве примера также можно привести завод в г. Умкомаас в Южно-Африканской Республике, принадлежащий фирме Sappi Saiccor, который в 2008 г. увеличил производство вискозной целлюлозы с 600 тыс. т до 810 тыс. т в год⁸².

История возникновения и совершенствования отбелки целлюлозы

Необходимо отметить, что в эпоху бумажных мельниц белизна бумаги определялась исключительно выбором белого тряпья. Загрязненное и цветное тряпье использовалось только для производства оберточных, переплетных и других видов бумаги.

Отбелка растительных волокон появилась намного раньше, чем производство волокнистых полуфабрикатов из древесного сырья. Плиний Старший (23–79 гг. н. э.) в «Естественной истории» отметил, что еще древние галлы владели технологией отбелки растительных волокон за счет многократного чередования выдерживания их на солнечном свете и погружения волокна в раствор щелочи, получаемой из древесной золы. Окончательную обработку отбеливаемых волокон проводили молочной кислотой, полученной из кислого молока⁸³.

В начале XVIII в. этот метод уже достиг совершенства в Голландии и получил название «луговая отбелка». Ткани, в основном льняные, вытканые в Англии и других местах, привозили весной в Голландию, а осенью уже отбеленные отправляли обратно. В 1756 г. вышла первая книга по отбелке на солнце шерсти, льна, хлопчатобумажной пряжи (бумазеи). Ее автор — доктор Фрэнсис Хоум представил описание всех технологических особенностей процессов, рецептов, качества химикатов, а также описал воздействие первых вспомогательных веществ, таких как кислоты, калий, известь и т. д. Он предложил вместо кислого молока применять слабый раствор серной кислоты, что существенно сократило время этой операции (продолжительность всей отбелки составляла несколько месяцев). Современная технология отбелки волокон, полученных из древесины, также использует чередование щелочных и кислотных ступеней и кислотную окончательную обработку в конце. Луговая отбелка была слишком дорогим процессом и поэтому для

⁸¹ Аввакумова А. В. Отбелка целлюлозы для химической переработки. — С. 71.

⁸² Там же. — С. 73.

⁸³ Отбелка целлюлозы / пер. с англ. В. М. Сперанского; под ред. Ф. П. Комарова. — М., 1957. — С. 11.

отбелки бумажной массы в производстве бумаги не применялась. Белизна бумаги зависела лишь от отсортировки белого тряпья.

В 1774 г. шведский химик Карл Вильгельм Шееле открыл хлор и отметил сильное белящее воздействие газообразного хлора на растительное волокно. Это послужило основой для разработки новых и дешевых отбеливающих реагентов.

Французский химик Бертолле обнаружил, что хлор при поглощении растворами или солями угольной кислоты создает растворы, обладающие отбеливающим действием, и для отбелки растительных волокон появилась торговая марка «Вода Жавелля». Французский химик Лабаракк заменил раствор поташа содой, и на рынке появилась торговая марка «Вода Лабаракка»⁸⁴. К развитию производства белильных растворов причастны также французский химик Лавуазье и шотландец Джеймс Уатт, изобретатель паровой машины. Впервые для отбелки тряпичной полумассы эти растворы применили Томас Генри из Манчестера (Англия) и Чептел во Франции. Продолжил линейку белильных растворов Чарльз Тиннантом из Шотландии, который, воздействуя газообразным хлором на известковое молоко, получил хлорную известь⁸⁵. В 1785–1786 гг. «Журнал де физик» опубликовал первый метод отбелки газообразным хлором, предложенный Луи Бертолле⁸⁶. Позднее, в 1805 г., для отбелки тканей стали использовать гипохлорит натрия и гипохлорит калия, и эра «луговой отбелки» закончилась.

Только с появлением производства целлюлозы химическим способом — методом сульфитной и сульфатной варки, а также с промышленным производством хлора и щелочи методом электролиза началась отбелка технической целлюлозы.

Сначала отбелку проводили в одну ступень гипохлоритом в ролле в течение 10 часов, затем по схеме в три ступени X — Щ — Г, где X — хлорирование, Щ — щелочение, Г — гипохлорит, и, наконец, отбелку в четыре ступени X_н — Щ_в — Г_н — Г_в. Характерной особенностью последней схемы является не только чередование кислой и щелочных ступеней отбелки, но и чередование концентрации, используемой в отбелке целлюлозной массы: от низкой (Н) к высокой (В). При этом масса на первых трех ступенях отбеливалась непрерывно, а последняя ступень проводилась периодически для окончательной отбелки целлюлозы, если появлялась необходимость. Переход на комбинированные схемы отбелки связан с сокращением расхода отбеливающих химикатов и увеличением производительности отбельной установки. В таблице 11 представлено изменение технологии отбелки сульфитной целлюлозы на конкретном предприятии с 1925 г. до конца 1940-х гг. В таблице 12 представлено изменение базовых схем отбелки сульфитной целлюлозы для бумаги в промышленно развитых странах в 1960–1970-х гг.

⁸⁴ Там же. — С. 12.

⁸⁵ Там же. — С. 13.

⁸⁶ Фёлкер Э. Большая отбелка: Одна промышленная история. — С. 15.

Таблица 11. Изменение схемы отбелки и производительности отбельной установки сульфитной целлюлозы для бумаг с 1920-х до конца 1940-х гг. на примере одного из заводов в Канаде в г. Халле⁸⁷

Показатель	Годы производства		
	1925	1937	Конец 1940-х
Схема отбелки	Г	Х – Щ – Г	Х _н – Щ _в – Г _н – Г _в
Оборудование и технология отбелки	Ролл типа Вольфа–Флетчера	Периодическая отбелка на каждой ступени	Концентрация на ступенях: н – низкая концентрация; в – высокая концентрация
Производительность отбельного цеха, т/сут	15	50	120

Примечание: Г – гипохлорит, Х – хлорирование, Щ – щелочение.

Таблица 12. Изменение базовых схем отбелки сульфитной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1960–1970-е гг.

Показатель	Годы производства	
	1960-е	1970-е
Вид отбелки	Отбелка с хлором	
Схема отбелки	Х – Щ – Г – Г – К	Х/Д – Щ – Г – Д – К

Примечание: Д – отбелка двуокисью хлора; Х/Д – совместная обработка хлорированием и двуокисью хлора; К – кисловка – окончательная обработка водным раствором SO₂ для стабилизации белизны целлюлозы.

Как видно из таблицы 12, базовая схема отбелки сульфитной целлюлозы предполагает использование хлора, и после ступени щелочения (ступени делигнификации) следуют две ступени отбелки гипохлоритом. Однако эти реагенты имеют недостатки: появление смоляных частиц на поверхности целлюлозных волокон приводило к снижению производительности бумагоделательной машины (частички смолы налипали на машинные валы и вызывали обрывы бумажного полотна — так называемые смоляные затруднения); товарная целлюлоза имеет низкую белизну и пониженные механические свойства. Поэтому для отбелки сульфитной целлюлозы в 1970-е гг. стали использовать значительно более дорогой реагент — диоксид хлора, который имеет в пять раз бóльшую окислительную способность, чем хлор, что снизило смоляные затруднения, повысило белизну товарной целлюлозы и ее механические свойства.

Помимо сульфитной целлюлозы для бумаги производили облагороженную целлюлозу для химической переработки (табл. 13). В прошлом задачей облагораживания являлось максимальное приближение исходной технической целлюлозы к хлопковому волокну, но с течением времени появился спрос на целлюлозы с особыми специфическими свойствами, не являющимися типичными для хлопкового волокна, поэтому данный вид целлюлозы получил название целлюлозы для химической переработки.

⁸⁷ Бус Л. Г. Отбелка сульфитной целлюлозы // Отбелка целлюлозы. — М., 1957. — С. 169.

Таблица 13. Изменение схем облагораживания целлюлозы для химической переработки в 1950–1970-е гг.

Показатель	Годы производства	
	1950-е*	1970-е**
Вид отбелки	Отбелка с хлором	
Схема отбелки	Отделение мелочи – X – Щ – Г ₁ – XO – Г ₂ – К	Отделение мелочи – X – Щ – ГО – Г ₁ – Г ₂ – Д – К; Отделение мелочи – X/Д – Щ – ГО – Г ₁ – Г ₂ – Д – К
Производительность отбельного цеха, т/сут	300	300

Примечания

Отделение мелочи (мелкого волокна) проводят с целью частичного обессмоливания массы, поскольку на его поверхности сорбированы частички смолы. XO – холодное облагораживание (мерсеризация) – обработка с расходом щелочи 200 % к массе волокна, концентрация массы 5 %, температура 15°С, продолжительность 60 мин; ГО – горячее облагораживание – обработка с расходом щелочи 10 % к массе волокна, концентрация массы 10 %, температура 120°С, продолжительность 180 мин.

* Непенин Н. Н. Технология целлюлозы : в 3 т. – Т. 1 : Производство сульфитной целлюлозы. – М., 1956. – С. 697.

** Шпаков Ф. В. Основные направления совершенствования технологии производства белых полуфабрикатов в России на пороге XXI века // Сборник пленарных докладов на пятой международной конференции ПАП-ФОР-98. – СПб., 1998. – С. 74–84.

Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для бумаги представлено в таблице 14.

Таблица 14. Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1960–1970-е гг.

Показатель	Годы производства			
	1930-е	1940-е	1960-е	1970-е
Вид отбелки	Отбелка с хлором			
Схема отбелки	X – Щ – Г	X – Щ – Г – Г	X – Щ – Г – Д – Щ – Д – К	X/Д – Щ – Д* – Щ – Д – К
Белизна, %	70	80	90	90

* В конце 1960-х гг. происходит замена гипохлорита натрия на диоксид хлора по двум причинам: диоксид хлора стал дешевле гипохлорита натрия, и механические свойства блененой целлюлозы, отбеленной без гипохлорита, стали выше⁸⁸.

⁸⁸ Smook G. A. Chlorine dioxide bleaching // Handbook for pulp and paper technologists. – Second Edition. – Vancouver (Canada) : Angus Wilde publications, 1992. – P. 178.

Изменение схем отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки представлено в таблице 15.

Таблица 15. Изменение схем отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки в 1960–1970-е гг.

Показатель	Годы производства	
	1960-е	1970-е
Вид отбелки	Отбелка с хлором	
Схема отбелки кордной целлюлозы для высокопрочного корда	Х – Щ – Щ – Г – Г – Щ – Д – К	Х/Д – Щ – Г – Д – Щ – Д – Г – К; Х – Щ – Г – ХО – ГО – Д – Г – К
Схема отбелки вискозной целлюлозы	Х – Щ – Г – Д – Щ – Д – Г – К	Х – Щ – Г – Д – Щ – Д – Г – К

На этом этапе развития изменения в технологии отбелки сульфатной целлюлозы для бумаги были связаны с повышением качества товарной целлюлозы и снижением затрат на отбельные реагенты. Однако под давлением природоохранного законодательства, особенно в западноевропейских странах, в ЦБП стали активно искать пути сокращения сброса загрязнений в водоемы и выбросов в атмосферу. С точки зрения выбора стратегии отрасли большую роль сыграли работы отечественных ученых, в частности В. М. Василева, который в конце 1980-х гг. первым в мире провел оценку токсичности фильтратов от обработки целлюлозы различными реагентами⁸⁹. Работа выполнялась путем отнесения массы каждого конкретного загрязняющего вещества к концентрации, соответствующей порогу токсического действия этого вещества (летальной концентрации ЛК₅₀). В результате был получен объем воды, который необходим для разбавления содержащихся в сбросе загрязняющих веществ до менее опасного уровня. Проведенная оценка токсичности показала, что необходимо значительное разбавление фильтрата⁹⁰:

- от процесса хлорирования (Х) — в 116 раз;
- от последующего щелочения (Щ) — в 184 раза;
- от делигнификации пероксидом водорода (П) — в 9,4–85 раз;
- от кислородно-щелочной обработки (КЩО) — в 43–342 раза.

Загрязненность абсолютно всех отбельных фильтратов оказалась исключительно высокой, и требуется значительное разбавление, чтобы достигнуть относительно безопасного уровня загрязнения для человека. Таким образом, преимущество кислородсодержащих реагентов (кислород, пероксид водорода,

⁸⁹ Кряжев А. М. Новые технические решения и поиск путей создания экологически безопасного производства беленых полуфабрикатов // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 1993. — № 4. — С. 16–19.

⁹⁰ Там же. — С. 18.

озон) по сравнению с хлором только в том, что их стоки не содержат ионов хлора и поэтому могут вместе с черным щелоком сжигаться в содорегенерационном котлоагрегате (СРК). Это стало основополагающей стратегией совершенствования отбелки технической целлюлозы.

В октябре 2000 г. на Котласском ЦБК впервые в пореформенной России была внедрена современная схема отбелки ECF сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины со ступенью кислородно-щелочной обработки и с использованием пероксида водорода и молекулярного кислорода на ступени щелочения (ЩОП). Отказ от использования молекулярного хлора и гипохлорита позволил⁹¹: повысить качество беленой целлюлозы; в три и более раз сократить количество хлорорганических соединений (АОХ), поступающих на очистные сооружения от отбельной установки; полностью исключить образование хлороформа. Помимо резкого снижения количества АОХ, поступающего на биологическую очистку, степень очистки стоков от АОХ достигла ~ 80 % вместо ~ 30 % при отбелке хлором и гипохлоритом. Все это обусловило улучшение охраны окружающей среды при сокращении расходов на очистку сточных вод.

Мировая целлюлозно-бумажная промышленность в отбелке целлюлозы для бумаги и химической переработки в 1980–2000-е гг. располагала доступными технологиями, которые представлены в таблицах 16–19.

В таблице 12 представлены передовые схемы отбелки при производстве сульфитной беленой целлюлозы. Отбелка сульфитной целлюлозы по бесхлорной технологии ECF протекает достаточно легко до белизны 90 % при использовании ступени диоксида хлора (Д), тогда как переход на отбелку с полным отсутствием хлорсодержащих реагентов (Total Elementary Chlorine Free, TCF) делает затруднительным достижение высокой белизны полуфабриката. Исследования токсичности стоков⁹² показали: стоки отбелки от кислородсодержащих реагентов и хлорсодержащих реагентов имеют одинаково высокую токсичность, поэтому с точки зрения охраны природы технология TCF не имеет преимуществ, если только стоки от отбелки не сжигаются в СРК.

Таблица 16. Передовые схемы отбелки сульфитной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1980–2000-е гг.

Показатель	Годы производства		
	1980-е	1990–2000-е	
Вид отбелки	ECF	ECF	TCF
Схема отбелки	О – Д – П – К	О – Д – П – К	ЩОП – К; ЩОП – П – К
Белизна, %	90	90	83–89

Примечание: О – кислородно-щелочная делигнификация; П – отбелка пероксидом водорода; ЩОП – щелочение с добавкой пероксида водорода и кислорода.

⁹¹ Кряжев А. М. Наилучшая доступная технология отбелки работает в Коряжме более десяти лет. Подведение итогов // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 2011. — № 10. — С. 13–16.

⁹² Кряжев А. М. Новые технические решения...

В таблице 17 показано совершенствование схем отбелки сульфитной целлюлозы для химической переработки. В схемах отказались от использования хлора, но для регулирования вязкости целлюлозы по-прежнему применялся гипохлорит, который заменили на озон.

Таблица 17. Передовые схемы отбелки сульфитной целлюлозы для химической переработки в 1980–2000-е гг.⁹³

Показатель	Годы производства	
	1980-е	1990–2000-е
Вид отбелки	Отбелка без молекулярного хлора	
Схема отбелки	ГО/О – Г ₁ – Г ₂ – Д – К; ГО/О – Г – П – К	МХО/ГО – Г ₁ – Г ₂ – Д – К'; ГО/О – Оз – П – К (ТСФ с 1999 г.)

Примечание: ГО/О – степень ГО – горячее облагораживание и без промывки последующая степень обработка кислородом; МХО/ГО – степень МХО – механохимическая обработка массы в аппарате типа «Фротапалпер» с последующей без промывки ступенью горячего облагораживания; Оз – степень озонирования.

* Кряжев А. М. Механохимическое воздействие на техническую целлюлозу для интенсификации технологических процессов // Лесной журнал. – 2004. – № 1. – С. 91–99.

В таблице 18 представлено изменение передовых схем отбелки при производстве сульфатной беленой целлюлозы. Отбелка этой целлюлозы требует более жестких условий процесса делигнификации целлюлозы с использованием кислорода (две ступени) и озона. Для достижения высокой белизны товарной целлюлозы используется степень отбелки диоксидом хлора (Д).

Таблица 18. Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1980–2000-е гг.

Показатель	Годы производства		
	1980-е	1990–2000-е	
Вид отбелки	ECF	ECF	TCF
Схемы отбелки	О – Д – ЩО – Д – ЩП – Д – К	О – Д – ЩОП – Д – ЩП – Д – К; О – Д – ЩОП – Д – ЩП – Д – К; О-О – Д – ЩОП – Д – К; О-О – Д – Q – ПО – К; О – Оз – Щ – Д – К	О – Q – ПО – Оз – ПО – К; О – Q – Оз – ПО – П – К

Примечание: ЩО – щелочение с добавкой кислорода; ЩП – щелочение с добавкой пероксида водорода; Q – обработка хелатирующими реагентами; ПО – совместная обработка пероксидом водорода и кислородом под избыточным давлением.

⁹³ Шпаков Ф. В. Основные направления совершенствования технологии производства беленых полуфабрикатов в России на пороге XXI века // Сборник пленарных докладов на пятой международной конференции ПАП-ФОР-98. – СПб., 1998. – С. 74–84.

Таблица 19. Передовые схемы отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки в 1980–2010-е гг.⁹⁴

Показатель	Годы производства	
	1980-е	1990–2010-е
Вид отбелки	Отбелка с хлором	
Схема отбелки кордной целлюлозы для высокопрочного корда (из хвойной целлюлозы)	X/D – Щ – Г ₁ – Д – Щ – Д – Г ₂ – К;	Нет информации
	X – Щ – Г ₁ – XO – ГО – Д – Г ₂ – К	Нет информации
Схема отбелки вискозной целлюлозы:		
– из хвойной целлюлозы	X – Щ ₁ – Г ₁ – Д – Щ ₂ – Д – Г ₂ – К	O – Щ ₁ – Г ₁ – Д – Щ ₂ – Д – Г ₂ – К;
– из лиственной целлюлозы		O-O – A – (O ₃ Q) – П

Необходимо отметить, что в период с 1999 по 2009 г. мировое производство целлюлозы для химической переработки не превышало 3 млн т⁹⁵. В 2010 г. мировой спрос на вискозную целлюлозу составил 5,1 млн т, что было связано с неурожаем хлопка, и цены с 550 долл./т выросли более чем в 4 раза — до 2400 долл./т⁹⁶. Это подтолкнуло многие компании планировать перепрофилирование существующих производств на выпуск целлюлозы для химической переработки или запустить неработающие мощности.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Совершенствование технологии производства бумаги и получения волокнистых полуфабрикатов создает новые виды продукции, улучшает условия труда, структуру себестоимости продукции, ее рентабельность.

В истории производства бумаги и целлюлозных волокон можно условно выделить такие этапы, как появление технической идеи и создание локального производства, а далее зарождение мелкосерийного производства и этап массового промышленного производства.

На этапе зарождения производства бумаги все стадии процесса были основаны исключительно на ручном труде как при разделении природных волокон и тряпья на отдельные волокна, так и при отливе суспензии волокон на сетке, отжиме сформованного листа и сушке. Соответственно, начальный этап в развитии технологии получения бумаги характеризуется низкой производительностью труда.

Появление мелкосерийного производства стимулировало повышение спроса на бумагу. В то время основным источником волокон являлось тряпье, поэтому дальнейшее развитие технологии связано с созданием бумажных мельниц,

⁹⁴ Аввакумова А. В. Отбелка целлюлозы для химической переработки. — С. 65–77.

⁹⁵ Там же. — С. 81.

⁹⁶ Там же.

на которых стали для получения волокон размалывать тряпье, используя силу ветра и потока воды, а затем ступу и, наконец, ролл, что и стало основой для производства волокон в мелкосерийном производстве бумаги. Это существенно повысило производительность труда в производстве волокнистого сырья, тогда как на стадии отлива бумаги и остальных стадиях процесса сохранился ручной труд, что при повышении объема производства бумаги требовало увеличения численности работников.

Зарождение промышленного производства стимулировал продолжающийся головокружительный рост потребности в бумаге, что привело к созданию бумагоделательной машины и получению волокон из древесины. Так, через 1800 лет после появления бумаги началось становление целлюлозно-бумажной промышленности. Развитие отрасли происходило благодаря постоянно растущему спросу на новые виды продукции, необходимые для удовлетворения потребности человека и развития науки и техники.

Технологические циклы становления целлюлозно-бумажной отрасли неотделимы от основных циклов развития мировой промышленности (табл. 20, 21).

Первый технологический цикл. Период промышленного производства бумаги начинается с появлением оборудования, облегчающего ручной труд при размоле тряпья на отдельные волокна и заменяющего ручной отлив бумаги на машинное черпание массы. Однако технический уровень используемого оборудования оставил низкими темпы роста производительности труда, а ручной труд продолжал преобладать над машинным. Первые бумагоделательные машины лишь формовали и прессовали бумажное полотно, а сушили бумагу, как и раньше, на воздухе и вручную обрабатывали поверхности каждого листа клеем. Проклейка непосредственно в бумажной массе перед отливом, предложенная в 1807 г. немецким изобретателем М. Ф. Иллингом, упростила процесс выработки бумаги. В 1823 г. на бумагоделательной машине появились сушильные цилиндры с угольными жаровнями, которые упростили сушку бумажного полотна (позднее для нагрева сушильных цилиндров стали использовать пар). В 1826 г. под сетку машины поместили отсасывающие ящики с вакуумными насосами, что увеличило производительность отлива бумаги на сеточном столе. Так появлялись технические решения, которые повысили производительность бумагоделательных машин, но ручного труда оставалось очень много.

Второй технологический цикл. Машинное производство бумаги требовало больше волокнистого сырья, источником которого было только тряпье. Поэтому полученная в 1843 г. немецким изобретателем Фридрихом Готтлобом Келлером из древесины древесная масса стала событием эпохальным, а в 1845 г. он получил первую бумагу в композиции 60 % — древесная масса и 40 % — ветошь. Это означало, что для производства бумаги можно более чем в два раза сократить расход дефицитного тряпья, заменяя его дешевой древесной массой. Первые две промышленные машины для производства древесной массы были построены в 1852 г. Так в середине XIX в. началась эра дефибрерной древесной массы, которая легла в основу производства механической массы. В 1854 г. американец Оттмар Мергенталер разработал первую работоспособную наборную машину, которая обеспечила головокружительный рост спроса на газетную бумагу. Это

стимулировало дальнейший поиск новых технологий получения волокна из древесины, и в 1857 г. ученые обнаружили в древесине окисляемую субстанцию, которая получила название лигнин, а уже в 1863 г. был выдан один из первых патентов на метод кислотной делигнификации, посредством которого древесная ткань распадалась на отдельные волокна (клетки). В это время появлялись технические предпосылки создания целлюлозно-бумажной промышленности.

Третий технологический цикл. Цикл характеризуется развитием производства древесной массы, технической целлюлозы из древесины кислотным (сульфитным) и щелочным (натронным, сульфатным) способами, проводится дальнейшее усовершенствование бумагоделательного оборудования, и тем самым создается целлюлозно-бумажная промышленность. В 1882 г. С. Ф. Далем был открыт сульфатный способ варки целлюлозы. В 1900-е гг. ширина бумагоделательной машины уже достигла 4 м, скорость — 140 м/мин, а производительность — 20 т бумаги в сутки. На бумагоделательной машине установили электрический двигатель и стали проектировать специальные машины для производства определенных сортов бумаги и картона. Впервые в Германии, а потом и в других странах появилось производство целлюлозы для химической переработки. Целлюлоза используется для производства порохов и химических волокон в легкой промышленности. Уже в 1920-е гг. ширина машины увеличилась до 6 м, скорость — до 300 м/мин, а производительность — до 100 т в сутки, то есть выросла в 5 раз по сравнению с началом века. На данном этапе развития большее распространение получил сульфитный способ производства целлюлозы, составляющий 75 % мирового производства целлюлозы. Но в 1933 г. построен первый содорегенерационный котел для сульфатных щелоков, который существенно снизил себестоимость производства сульфатной целлюлозы. Поэтому уже к концу 1930-х гг., особенно в США, активно строились сульфатцеллюлозные заводы. Этому способствовало два фактора: практическое исчерпание в лесосырьевой базе страны древесины ели, которая необходима для сульфитной варки, и значительный рост потребности в прочной упаковочной бумаге и картоне, которые лучше производить из сульфатной целлюлозы, получаемой из любого вида древесного сырья.

Четвертый технологический цикл. Цикл характеризуется влиянием экономических и экологических факторов на развитие производства. Энергетический кризис 1970-х гг. резко увеличил стоимость производства целлюлозы. Повысились требования к охране окружающей среды, особенно для производства сульфитной целлюлозы, которое сбрасывало стоки без очистки в ближайшие водоемы. Сложившаяся ситуация способствовала быстрой разработке и внедрению новых способов производства механической массы из хвойных (ТММ), а также и лиственных пород (ХТММ), которые позволили частично или полностью заменить сульфитную целлюлозу в композиции некоторых массовых видов бумаги. Сульфитные заводы стали модернизировать с внедрением системы регенерации сульфитных щелоков, перепрофилировать на производство механической массы или закрывать. В связи с дефицитом лесных ресурсов и с целью сокращения затрат на производство бумаги увеличивается доля использования макулатурных волокон в общем потреблении волокнистого сырья.

Таблица 20. Характеристика технологических этапов развития производства бумаги

Период, годы	Цикл	Описание цикла	Технологические лидеры
1740–1830	Первый (раннее производство бумаги)	Бумага для печати (книжная, газетная) и для письма. Развитие текстильной промышленности, текстильного машиностроения, выплавки чугуна, обработки железа	Великобритания, Франция
1830–1880	Второй (начало технического развития)	Бумага для печати, письма, рисования, чертежная, упаковочная, обойная, фильтровальная, патронная, туалетная, бумажные полотенца и др. Появление парового двигателя, развитие железнодорожного строительства, транспорта, машиностроения, пароходостроения, угольной промышленности, станкоинструментальной промышленности, черной металлургии	Великобритания, Франция, Германия, США
1880–1930	Третий (начало механизации производства)	Целлюлоза для химической переработки, расширение ассортимента писчебечатных и тароупаковочных видов бумаги и картона, санитарно-гигиенические виды бумаги. Развитие электротехнического, тяжелого машиностроения, производства и проката стали, электроэнергетики, неорганической химии	Германия, США, Великобритания, Франция, Нидерланды
1930–1980	Четвертый (совершенствование технологий производства)	Расширение ассортимента целлюлозы для химической переработки и писчебечатных «деловых» бумаг, тароупаковочных и специальных видов бумаги для электронной коммуникации, санитарно-гигиенические виды бумаги. Развитие автомобилестроения, цветной металлургии, органической химии, производства и переработки нефти	США, страны Западной Европы, СССР, Канада, Австралия, Япония
1980–2020	Пятый (повышение качества бумаги и расширение ассортимента бумаги и картона)	Микрокристаллическая целлюлоза, «деловая» бумага (канцелярская, для множительной техники, копияная бумага), расширение ассортимента тароупаковочной продукции, санитарно-гигиенических видов бумаги. Развитие электронной промышленности, телекоммуникации и интернета, роботостроения, производства и переработки газа, информационных услуг	США, ЕС, Япония

Таблица 21. Основные этапы циклов развития целлюлозно-бумажной промышленности

Цикл	Научно-технический этап	Технико-экономический этап	Экономично-социальный этап	Социально-регуляторный этап
Первый (раннее производство бумаги)	Появление ролла для измельчения тряпья на отдельные волокна и первых бумагоделательных машин для механизации отлива бумаги. Совершенствование их конструкции	Увеличение объемов производства бумаги за счет увеличения производства волокон из тряпья и механизации отлива бумаги	Доступность бумаги на рынке	Рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда
Второй (начало технического развития)	Производство древесной массы. Разработка набортной машины для печати	Увеличение объемов производства за счет древесины и увеличения производительности оборудования	Резкий рост потребности в газетной бумаге	Рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда
Третий (начало механизации производства)	Производство технической целлюлозы по кислотному и щелочному способам варки. Механизация производства бумаги	Целлюлоза для химической переработки. Увеличение объемов производства бумаги за счет технической целлюлозы и увеличения производительности бумагоделательного оборудования	Начало производства химических волокон, рост потребности писчебумажной и санитарно-гигиенических видов	Рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда
Четвертый (совершенствование технологий производства)	Совершенствование производства древесной массы и технической целлюлозы, производства макулатурных волокон, бумаги и картона	Увеличение объемов производства бумаги и картона за счет использования первичных целлюлозных, макулатурных волокон и древесной массы	Рост объемов писчебумажных видов продукции, в том числе «деловых» бумаг, санитарно-гигиенических и тароупаковочных видов продукции	Рост квалификации работников, улучшение условий труда
Пятый (повышение качества бумажно-картонной продукции и снижение затрат)	Повышение степени автоматизации производства, снижение производственных затрат	Увеличение производства целлюлозы до 1–1,95 млн т в год одним потоком. Снижение затрат на производство бумаги и картона за счет большего использования в композиции минеральных наполнителей, лигнинных волокон и макулатурных волокон	Под влиянием ужесточения природоохранного законодательства отказ от неэкологичных технологий. Использование для отбеливания кислорода, озона, пероксида водорода взамен хлора и гипохлорита	Сокращение численности работников, переход на автоматическое управление процессом производства и автоматическую диагностику технического состояния оборудования

Если в 1970-е гг. доля вторичных волокон составила 22 %, то в 1980-е — уже больше 30 %. Макулатурное волокно успешно применяется для выработки санитарно-гигиенических и бытовых видов бумаги, для которых используется как обесцвеченная (в 1975 г. произвели 2,2 млн т, а в 1978-м — уже 4,4 млн т), так и не обесцвеченная макулатурная масса. В производстве писчих и печатных видов бумаги также стали применять обесцвеченное макулатурное волокно.

В производстве волокнистых полуфабрикатов с целью снижения затрат и сокращения вредного воздействия на природу стали переходить с низкой концентрации массы — 3 % — к средней концентрации — 10 %, что сократило расход воды с 32 м³/т целлюлозы до 9 м³/т целлюлозы, то есть в 3,5 раза и сократило на 20 % расход тепловой энергии и химических реагентов в отбельном цехе. Переход на обработку массы средней концентрации позволил эффективно диспергировать молекулярный кислород в массе для замены молекулярного хлора и интенсифицировать процессы отбели. В 1970 г. в ЮАР на заводе фирмы SAPPi запущена в эксплуатацию первая промышленная установка кислородно-щелочной обработки целлюлозы. Открыта эра технологии отбели без молекулярного хлора (ECF) для отбели целлюлозы. Появились схемы отбели, в которых отработанный щелок после КЩО поступает вместе с черным сульфатным щелоком на сжигание в СРК, что в два раза сократило количество загрязнений, поступающих на очистные сооружения сульфатцеллюлозного завода от отбельного цеха.

Для снижения дефицита хвойной древесины на специализированных сульфатцеллюлозных производствах активно используют на варку лиственных породы древесины. В композиции бумаги успешно используют замену 30 % хвойных волокон на лиственное волокно.

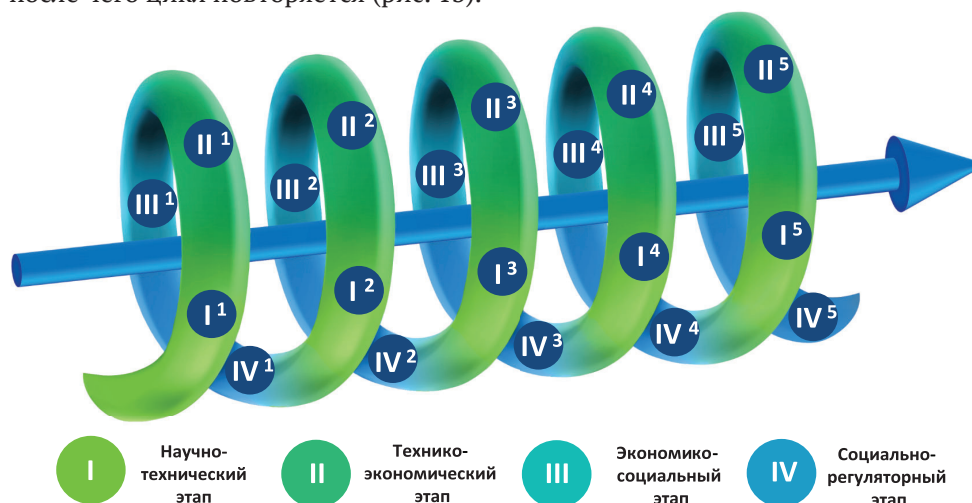
Пятый технологический цикл. Цикл характеризуется широкой номенклатурой выпускаемых изделий, которая составляет 3500 видов бумаги, картона, бумагоподобных материалов (в Российской Федерации — около 450). Снижение затрат и снижение воздействия на окружающую среду стали основными факторами, влияющими на дальнейшее совершенствование технологии производства. Для снижения затрат в композиции бумаги успешно используют замену 90 % хвойных волокон на лиственное волокно, широко используются минеральные наполнители.

Внедряются автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ), осуществляющие контроль и управление технологическими процессами, а также осуществляющими диагностику состояния оборудования, оценивающими надежность его работы. Внедряются технологии бесхлорной отбели (ECF) и «легкая» ECF. В схемах отбели широко используются кислород, озон, перекись водорода взамен молекулярного хлора и гипохлорита натрия, и сброс хлорорганических соединений (АОХ) в водоемы сокращается в 3–4 раза, а сброс хлороформа прекращен.

Растут мощности всех технологических звеньев производства сульфатной целлюлозы, бумаги и картона. Созданы предпосылки для создания единичных потоков производства целлюлозы мощностью 1,0–1,95 млн т/год и бумагоделательных машин производительностью 430 тыс. т бумаги в год, что в 60 раз превышает мощности БДМ, созданных в 1900 г.

Спираль развития технологий целлюлозно-бумажной промышленности

Необходимо отметить, что каждый этап обусловлен определенным фактором, который дает новый толчок развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 13).



- | | |
|---|---|
| <p>I¹ — появление бумагоделательных машин для механизации отлива бумаги</p> <p>II¹ — увеличение объемов производства бумаги</p> <p>III¹ — доступность бумаги на рынке</p> <p>IV¹ — рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда</p> <p>I² — появление производства древесной массы; появление наборной машины для печати</p> <p>II² — увеличение объемов производства бумаги за счет использования древесной массы и повышения производительности оборудования</p> <p>III² — резкий спрос на газетную бумагу</p> <p>IV² — рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда</p> <p>I³ — начало производства технической целлюлозы; механизация производства бумаги</p> <p>II³ — увеличение объемов производства за счет технической целлюлозы и повышения производительности бумагоделательного оборудования</p> <p>III³ — рост потребления писчепечатной бумаги и санитарно-гигиенических видов бумаги</p> <p>IV³ — рост численности и квалификации работников; улучшение условий труда</p> | <p>I⁴ — совершенствование производства древесной массы, технической целлюлозы, получения бумаги и картона</p> <p>II⁴ — увеличение ассортимента продукции и объемов производства за счет повышения производства технической целлюлозы</p> <p>III⁴ — рост числа видов продукции «деловых» бумаг и тароупаковочных видов продукции</p> <p>IV⁴ — рост квалификации работников, улучшение условий труда</p> <p>I⁵ — повышение автоматизации производства</p> <p>II⁵ — увеличение объема производства целлюлозы и картонно-бумажной продукции</p> <p>III⁵ — исключение использования для отбеливания целлюлозы хлора и гипохлорита, отказ от неэкологических технологий</p> <p>IV⁵ — сокращение численности работников, переход на автоматическое управление процессом производства</p> |
|---|---|

Рис. 13. Эволюция технологий целлюлозно-бумажной промышленности

В истории развития отраслей промышленности эффективное использование ресурсов рассматривают как важнейшее условие для перехода технологического развития на новый уровень; описывают реакции отрасли на изменение условий ее деятельности как единого целого, не включая описания механизма какого-либо технологического звена.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Под технологией в ЦБП понимают последовательность действий (операций) определенной природы для преобразования исходного древесного сырья, макулатуры в конечную бумажно-картонную продукцию, необходимую для удовлетворения биологической или социальной потребности человека, производимую на основном и вспомогательном оборудовании. На рисунке 14 приведена схема жизненного цикла бумаги и картона (в общем виде) с указанием его отдельных стадий.



Рис. 14. Схема жизненного цикла бумаги и картона

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности — крупные потребители древесного сырья, макулатуры, различных химических реагентов и энергетических ресурсов: пресной воды, тепловой и электрической энергии. Возможность регенерации химикатов и восполнения потерь щелочи и серы недорогим природным сульфатом натрия — одна из основ экономической

целесообразности самого распространенного — сульфатного способа производства целлюлозы, по которому производят более 90 % целлюлозы в мире. Сульфатные методы варки целлюлозы позволяют использовать любой вид древесного сырья (хвойная и лиственная древесина), регенерировать варочный щелок, получая при этом тепловую и электрическую энергию для технологического процесса и белый щелок для варки.

По окончании сульфатной варки примерно половина древесного вещества растворяется, и сваренная целлюлоза отделяется при промывке от растворенных веществ и остаточных варочных химикатов, которые вместе образуют поток жидкости, называемый слабым черным щелоком. Он поступает в систему регенерации, состоящую из двух сопряженных циклов: регенерации щелока и регенерации извести.

Регенерация щелока проводится в следующей последовательности: удаление из щелока сульфатного мыла и мелкого волокна; выпаривание слабого черного щелока с получением концентрированного щелока; сжигание крепкого черного щелока в сордорегенерационных котлоагрегатах; растворение полученного плава минеральных солей слабым белым щелоком с образованием зеленого щелока; каустизация зеленого щелока известью для превращения карбоната натрия в активный гидроксид натрия с получением крепкого белого щелока, поступающего снова на варку щепы. После варки целлюлозы технологические этапы цикла регенерации щелочи повторяются.

В цикл регенерации извести поступает образованный в процессе каустизации шлам (CaCO_3), который подают на промывку, и полученная промывная щелочная жидкость, называемая слабым белым щелоком, снова поступает на растворение плава в СРК, а промытый шлам — на обжиг в известерегенерационную печь (ИРП) с получением оксида кальция (CaO), который непрерывно направляют на каустизацию зеленого щелока.

В системе регенерации химикатов современного сульфатного завода регенерируются и повторно используются примерно 97 % варочных химикатов.

Энергообеспечение крупных комбинатов осуществляется за счет сжигания органической части черного щелока в энерготехнологическом котлоагрегате (СРК) с выработкой тепловой энергии (в виде пара) и из него — электрической энергии. На собственной утилизационной ТЭС при сжигании кородревесных отходов производят горячую воду и технологический пар.

В мировом масштабе в год перерабатывается более 1,3 млрд т слабого черного щелока, содержащего около 200 млн т сухих веществ, которые сжигаются в сордорегенерационных котлоагрегатах (СРК), где регенерируется 50 млн т химических веществ, необходимых для варки целлюлозы (в пересчете на Na_2O) и производится 700 млн т пара высокого давления. Это делает черный щелок от варки целлюлозы, по мнению автора работы⁹⁷, пятым по значимости топливом в мире после угля, нефти, природного газа и моторного топлива.

Структура потребления энергоресурсов (тепловая и электрическая энергия) по основным цехам завода представлена ниже. Так, расход тепловой энергии

⁹⁷ Reeve D. W. The Kraft Recovery Cycle // Tappi Kraft Recovery Operations Short Course. — Tappi Press, 2002. — P. 1.1–1.

(из таблицы 24) по цехам составляет: варка целлюлозы ~ 15 %; кислородно-щелочная делигнификация ~ 3 %, отбелка ~ 15 %; сушка ~ 19 %; выпарка ~ 33 % и другие цеха — 15 %, итого 100 %. Структура расхода электрической энергии (из таблицы 25) по цехам комбината: лесная биржа ~ 6 %, варка целлюлозы ~ 6 %, промывка небеленой сульфатной целлюлозы и сортировка ~ 8,5 %, кислородно-щелочная делигнификация ~ 8,5 %, отбелка ~ 11 %, тонкое сортирование ~ 6,5 %, сушка ~ 17 %, выпарка ~ 4,2 %, СРК ~ 8,5 %, каустизация и печь для обжига извести (включая газификацию коры) ~ 8 %, градирия ~ 3 %, подготовка свежей воды ~ 3 %, очистка сточных вод ~ 4,3 %, подготовка отбеливающих химических реагентов (включая реагенты для кислородной делигнификации) ~ 1,5 %, другие потребители, потери в сетях ~ 4 %, итого 100 %.

В начале XXI в. состав используемых на отечественных целлюлозно-бумажных предприятиях горючих вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) практически не меняется: доля щелоков составляет 60 %, доля древесных отходов и коры — 40 %. На передовых целлюлозных заводах минеральное топливо (мазут, газ) применяют только в одной точке технологического потока — для регенерации извести в ИРП. В нашей стране в последние годы мазут заменяют природным газом или, частично, побочными продуктами (скипидар, метанол), выделяемыми из древесины в процессе варки. За границей начиная с 1983 г.⁹⁸ некоторые предприятия для замены минерального топлива в ИРП используют газификацию древесных отходов с получением горючего синтез-газа. Однако известно, что высшая теплотворная способность синтез-газа низкая и варьируется от 3,5 до 11,5 МДж/кг, тогда как для мазута она в 3,5 раза выше — 43,1 МДж/кг, а для природного газа в 4,5 раза больше — 53,2 МДж/кг. При этом нужно отметить, что от сжигания природного газа в газовых выбросах содержание серы < 5 мг S/МДж и оксидов азота 30–60 мг NO_x/МДж сжигаемого топлива, тогда как при сжигании биотоплива (кородревесные отходы) содержание серы в 3 раза выше — < 15 мг S/МДж и в 2 раза выше оксидов азота — 60–110 мг NO_x/МДж сжигаемого топлива. Следовательно, для полного прекращения выбросов в атмосферу как загрязняющих веществ, так и парниковых газов (углекислый газ — CO₂, метан — CH₄ и оксиды азота — NO_x) в далекой перспективе потребуются переход на сугубо водородное топливо. В ближайшие десятилетия сокращения выбросов углекислого газа целесообразно добиваться переходом от использования угля и мазута на природный газ и увеличением доли использования «чистой энергии» (атомная энергетика, гидроэнергетика, возобновляемые источники энергии) и биомассы дерева с повышением ее теплотворной способности путем предварительной подсушки отходящим теплом производственных газов. Сокращение выбросов метана (CH₄) и оксидов азота (NO_x) возможно только организацией системы мер в процессе горения минерального и биотоплива.

На рисунке 15 представлен укрупненный материальный баланс производства 1 млн т беленой целлюлозы из древесного сырья и 1 млн т бумаги без покрытия на интегрированном предприятии.

⁹⁸ Peter W. Hart Alternative «green» lime kiln fuels : Part II : Woody biomass, bio-oils, gasification, and hydrogen // Tappi Journal. — Vol. 19, No 5. — 2020. — P. 271–279.

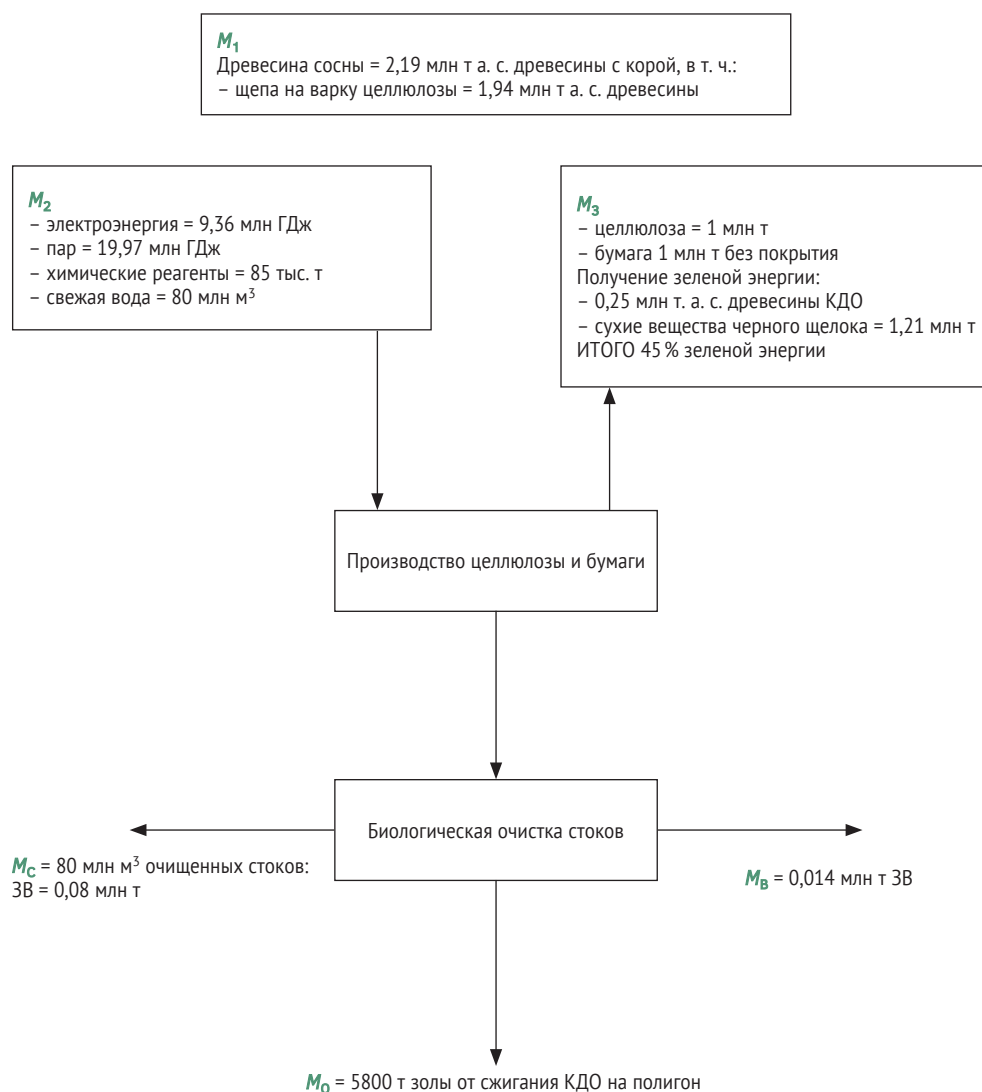


Рис. 15. Укрупненный материальный баланс производства 1 млн т беленой целлюлозы из древесного сырья и 1 млн т бумаги без покрытия на интегрированном предприятии:

- M_1 – поток основного сырья и материалов; M_2 – поток вспомогательного сырья и материалов; M_3 – потоки готовой продукции и используемых отходов;
 M_4 – поток общего выделения загрязняющих веществ; M_C , M_B – потоки сбросов и выбросов загрязняющих веществ соответственно;
 M_O – поток отходов неиспользуемых; ЗВ – загрязняющие вещества

На рисунке 16 представлена схема технологического процесса в расчете на производство 1 т в. с. ц и 1 т бумаги без покрытия (интегрированное предприятие).

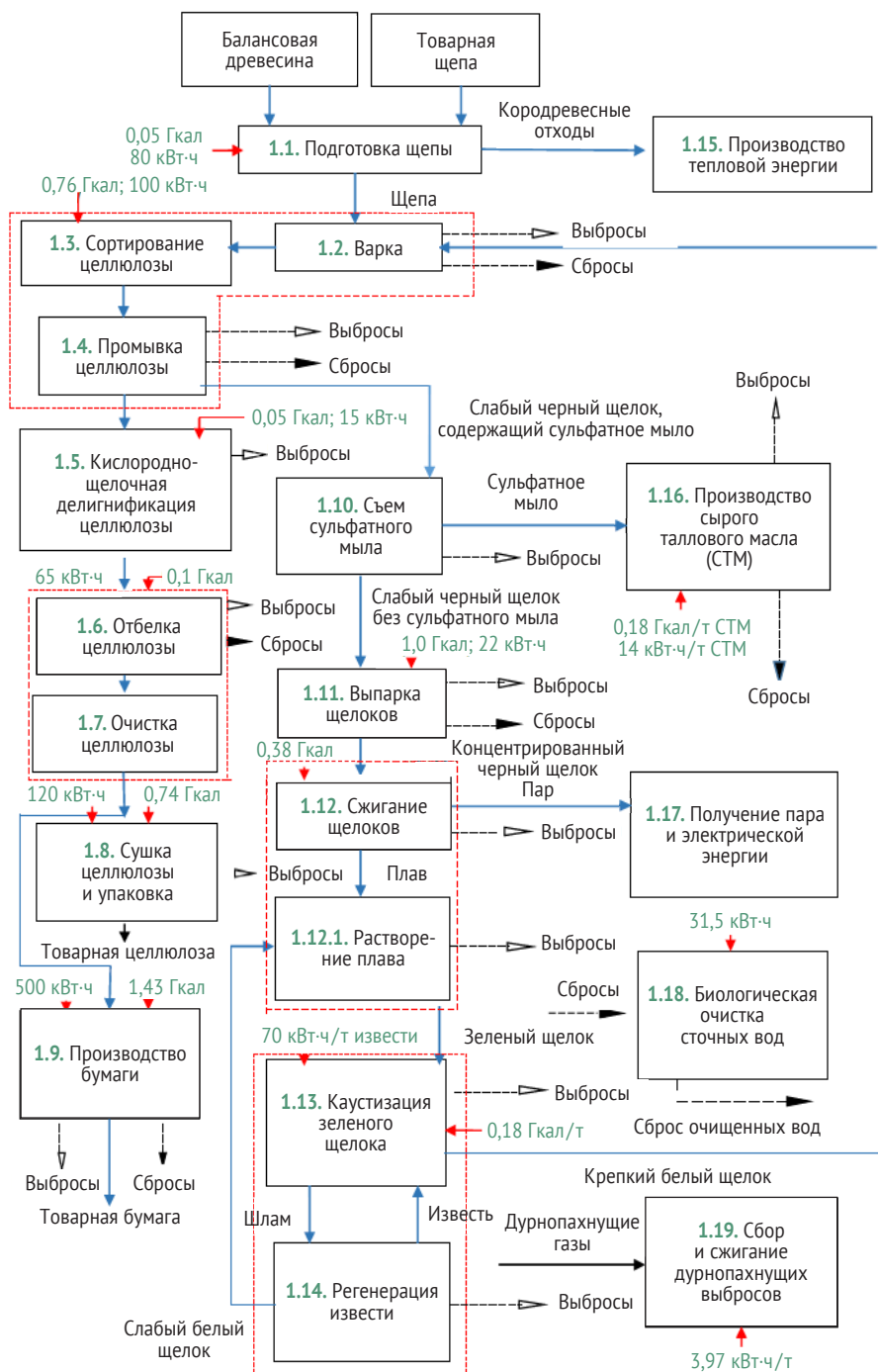


Рис. 16. Общая схема описания технологического процесса производства товарной блененой сульфатной целлюлозы и бумаги на интегрированном предприятии

В таблицах 22–28 представлен расход энергоресурсов на наиболее энергоэффективных предприятиях, выпускающих различные виды продукции (древ-масса, целлюлоза, бумага, картон, сангигиенические изделия) и работающих по НДТ из древесного и макулатурного сырья.

Таблица 22. Потребление энергии на 1 т воздушно-сухой целлюлозы и бумаги на различных целлюлозно-бумажных комбинатах⁹⁹

Тип производства волокнистых полуфабрикатов/вид бумаги	Потребление энергии		
	Электрическая	Тепловая	
	кВт·ч/т	кВт·ч/т	Гкал/т
Производство сульфатной целлюлозы (неинтегрированное предприятие)	700–800	3800–5100	3,27–4,39
Производство бумаги без покрытия из древесной массы ДММ, ХТММ, БХТММ (интегрированное предприятие)	1200–1400	1000–1600	0,86–1,38
Производство бумаги с покрытием из древесной массы ДММ, ХТММ, БХТММ (интегрированное предприятие)	1200–2100	1300–1800	1,12–1,55
Производство офисной бумаги для принтера, с композицией более 90 % ТММ (интегрированное предприятие)	2500–2700	330	0,28
Производство бумаги с покрытием, не содержащей древесную массу (неинтегрированное предприятие)	600–1000	1200–2100	1,03–1,81
Производство упаковочной бумаги (макулатурное волокно без удаления типографской краски)	300–700	1100–1800	0,95–1,55
Производство бумаги для полиграфии (макулатурное волокно с удаленной типографской краской)	900–1400	1000–1600	0,86–1,38
Производство картона на основе макулатурного волокна с удалением типографской краски	400–700	1000–2700	0,86–2,32
Производство целлюлозы для санитарно-гигиенической продукции (без использования аэрофонтанной сушки, неинтегрированное предприятие)	900–1200	1900–2300	1,63–1,98
Производство целлюлозы для санитарно-гигиенической продукции на основе макулатурного волокна (без использования аэрофонтанной сушки)	800–2000	1900–2800	1,63–2,41
Специальные виды бумаги без содержания древесной массы	600–3000	600–4500	0,52–3,87

⁹⁹ Основано на: Suhr M. European Comission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. — 2015. — P. 79.

Таблица 23. Расход пара на энергоэффективных предприятиях, вырабатывающих сульфатную беленую целлюлозу по НДТ¹⁰⁰

Процесс производства	Расход пара, Гкал/т воздушно-сухой целлюлозы
Варка	0,38–0,48
Кислородная делигнификация	0,048–0,095
Отбелка	0,36–0,48
Сушка	0,52–0,62
Выпарная станция	0,95–1,07
Другое	0,36–0,48
Суммарный расход	2,63–2,87

Таблица 24. Потребление электроэнергии на энергоэффективных предприятиях, вырабатывающих сульфатную беленую целлюлозу по НДТ¹⁰¹

Процесс	Потребление электроэнергии, кВт·ч/т воздушно-сухой целлюлозы
Лесная биржа	45
Варочный котел	44
Промывка небеленой сульфатной целлюлозы и сортировка	60
Кислородная делигнификация*	60
Отбелка*	80
Сортировка (post screening)	45
Сушка	120
Выпарка	30
СРК	60
Каустизация и печь для обжига извести (включая газификацию коры)	57
Градирня	20
Подготовка свежей воды	20
Очистка сточных вод	30
Подготовка отбеливающих химических реагентов (включая реагенты для кислородной делигнификации)	10
Другие потребители, потери в сетях	30
Итого расход электроэнергии	712

* ECF-отбелка.

¹⁰⁰ Основано на: Suhr M. European Comission. Best Available Techniques (BAT). — P. 352.¹⁰¹ Ibid. — P. 353.

Таблица 25. Потребление электроэнергии на энергоэффективных предприятиях, вырабатывающих древесную массу¹⁰²

Древесная масса и степень помола, мл CSF	Потребление энергии, кВт·ч/т целлюлозы	Рекуперация энергии	
		В качестве горячей воды, %	В качестве пара высокого давления, %
Древесная масса 350–30	1100–2200	20	0
Древесная масса, полученная под давлением 350–30	1100–2200	30	20
РММ 350–30	1600–3000	30	20
ТММ 400–30	800–3600	20	40–80
ХТММ 700–30	1000–4300	20	40–45

Таблица 26. Типичное потребление электроэнергии в процессе производства различных видов бумаги¹⁰³

Вид бумаги и картона	Расход электроэнергии, кВт·ч/т
Газетная бумага	500–650
Немелованная бумага с содержанием древесной массы	550–800
Немелованная бумага без содержания древесной массы	500–650
Мелованная бумага с содержанием древесной массы	550–700
Мелованная бумага без содержания древесной массы	650–900
Бумага из сульфатной целлюлозы	850
Бумага санитарно-гигиенического и специального назначения	500–3000
Коробочный картон	550
Тарный картон	680

¹⁰² Ibid. — Р. 516.

¹⁰³ Ibid. — Р. 520.

Таблица 27. Потребление энергии при производстве санитарно-гигиенической и газетной бумаги из макулатуры¹⁰⁴

Технические параметры	Тисью (линия облагороженной макулатурной массы – 200 т/сут)	Газетная (линия облагороженной макулатурной массы – 1000 т/сут)
Макулатурное сырье	Старые журналы/ смешанные офисные отходы	Старые газеты/ старые журналы
Выход	55–60 %	80 %
Удельный расход электроэнергии на 1 т макулатурного облагороженного волокна	230 кВт·ч/т	300 кВт·ч/т
Удельный расход пара низкого давления на 1 т макулатурного облагороженного волокна	0,3 т	0,3 т
Удельный расход электроэнергии на 1 т макулатурного облагороженного волокна, расходуемый на отдельных стадиях технологического процесса:		
– питающий конвейер	1 кВт·ч/т	0,4 кВт·ч/т
– роспуск массы в гидроразбивателе высокой концентрации	39 кВт·ч/т	16 кВт ч/т (барабанный гидроразбиватель)
– грубое сортирование	Не требуется	18,5 кВт·ч/т
– очистка на центрифугах	Энергия на подачу массы	Энергия на подачу массы
– удаление песка (очиститель)	Энергия на подачу массы	Энергия на подачу массы
– тонкое сортирование макулатурной массы	17 кВт·ч/т	22 кВт·ч/т
– флотация 1	18 кВт·ч/т	23 кВт·ч/т
– промывка 1	8 кВт·ч/т	Без промывки
– сгущение массы на дисковом фильтре	Не требуется	1 кВт·ч/т
– диспергирование массы (включая загуститель)	55 кВт·ч/т	67 кВт·ч/т
– флотация растворенным воздухом	Нет данных	Нет данных
– флотация 2	5 кВт·ч/т	19 кВт·ч/т
– промывка 2	10 кВт·ч/т	Без промывки
– обезвоживание на прессе избыточного активного ила	Нет данных	Нет данных
Все насосы	Не включено	91 кВт·ч/т

¹⁰⁴ Основано на: *Suhr M. European Commission. Best Available Techniques (BAT). — P. 571.*

Таблица 28. Удельное потребление энергии на предприятиях, производящих различные виды картона из макулатурных волокон без удаления краски¹⁰⁵

Сорт картона	Расход энергии, кВт·ч/т			Состав продукции по волокну
	Тепловая	Электроэнергия	В сумме	
Картон для складных коробок	1447	420	1867	100 % вторичного волокна без удаления краски
Картон для складных коробок	1492	468	1960	85 % вторичного волокна без удаления краски, 10 % древесной массы, 5 % первичной целлюлозы
Картон для складных коробок	1535	490	2025	94 % вторичного волокна без удаления краски, 4 % древесной массы, 2 % первичной целлюлозы
Гофрированный слой картона, картон тестлайнер	1223	372	1595	100 % вторичного волокна без удаления краски
Гофрированный слой картона	1667	366	2033	98 % вторичного волокна без удаления краски, 2 % первичной целлюлозы
Картон для складных коробок	1140	545	1685	100 % вторичного волокна без удаления краски
Тестлайнер	1414	355	1769	100 % вторичного волокна без удаления краски
Гофрированный слой картона	1214	461	1675	100 % вторичного волокна без удаления краски
Тестлайнер, гофрированный слой картона	1758	500	2258	100 % вторичного волокна без удаления краски
Тестлайнер, гофрированный слой картона	1184	432	1616	100 % вторичного волокна без удаления краски
Тестлайнер, гофрированный слой картона	1566	399	1965	100 % вторичного волокна без удаления краски

В таблице 29 перечислены основные источники образования парниковых газов на промышленной площадке предприятий ЦБП.

¹⁰⁵ Ibid. — Р. 573.

Таблица 29. Прямые источники выбросов парниковых газов в ЦБП¹⁰⁶

Источник выбросов	Выбросы парниковых газов
Ископаемое топливо и/или котлы на биомассе	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Все типы комбинатов ЦБП	Биогенные CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Термическое окисление и регенеративные термические окислители	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Сульфатные целлюлозные комбинаты и заводы полуцеллюлозы (имеющие установки сжигания)	
Сушильные устройства на газе на некоторых ЦБК	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Газотурбинные установки	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Все типы ЦБК	
Известерегенерационные печи	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O Биогенные CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Предприятия сульфатной целлюлозы	
Сжигание сульфатных щелоков в СРК	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O Биогенные CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Предприятия сульфитной целлюлозы	
Сжигание сульфитных щелоков в МРК	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O Биогенные CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Автономные заводы полуцеллюлозы	
Известерегенерационные печи	Ископаемые CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O Технический биогенный CO ₂
Предприятия сульфатной целлюлозы	
Восполнение химикатов в цикле регенерации (CaCO ₃ , Na ₂ CO ₃)	Технический CO ₂
Предприятия сульфатной целлюлозы	
Для твердотопливных котлов требуется система очистки дымовых газов	Требуется ограничение выбросов CO ₂
Анаэробная очистка сточных вод	Биогенные CO ₂ , CH ₄
Производство химической целлюлозы (в основном сульфатной)	
Полигоны отходов	Биогенные CO ₂ , CH ₄

Для схемы технологического процесса, представленной на рисунке 16, в таблицах 30–71 приведены краткое описание и технологические характеристики каждой стадии процесса, для которых указаны входные и выходные материальные потоки, основные энергетические потоки, сбросы и выбросы.

**Подготовка технологической щепы для варки целлюлозы
(см. рис. 16, п. 1.1)**

Круглый лес, поступающий на площадку завода, подвергается окорке (удалению коры с древесного ствола). Далее окоренные бревна рубятся в щепу, которая сортируется по размерам и подается на варку целлюлозы. Эти технологические операции проводят в древесно-подготовительном цехе (ДПЦ).

¹⁰⁶ Основано на: Suhr M. European Comission. Best Available Techniques (BAT). — P. 573.

Таблица 30. Описание технологического процесса производства технологической щепы в ДПЦ

Входной поток		Круглый лес, товарная щепа, пар низкого давления, технологическая вода
Стадия технологического процесса		Подготовка технологической щепы
Вид технологического процесса		Окорка круглого леса, рубка окоренных бревен на щепу, сортирование полученной и товарной щепы
Метод воздействия на материальный ресурс / предмет труда		Трение бревен между собой, ножи для рубки бревен, сита для сортирования щепы по размерам, транспорт круглого леса, товарной и технологической щепы, кородревесных отходов
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Кондиционная технологическая щепа, кородревесные отходы
	Эмиссии	Сброс сточных вод на БОС и выбросы пыли
Оборудование		Размораживающий транспортер (зимний период), окорочный барабан, рубительная машина, станция сортирования щепы, автопогрузчики, автотранспорт, транспортирующие конвейеры и пневмотранспорт

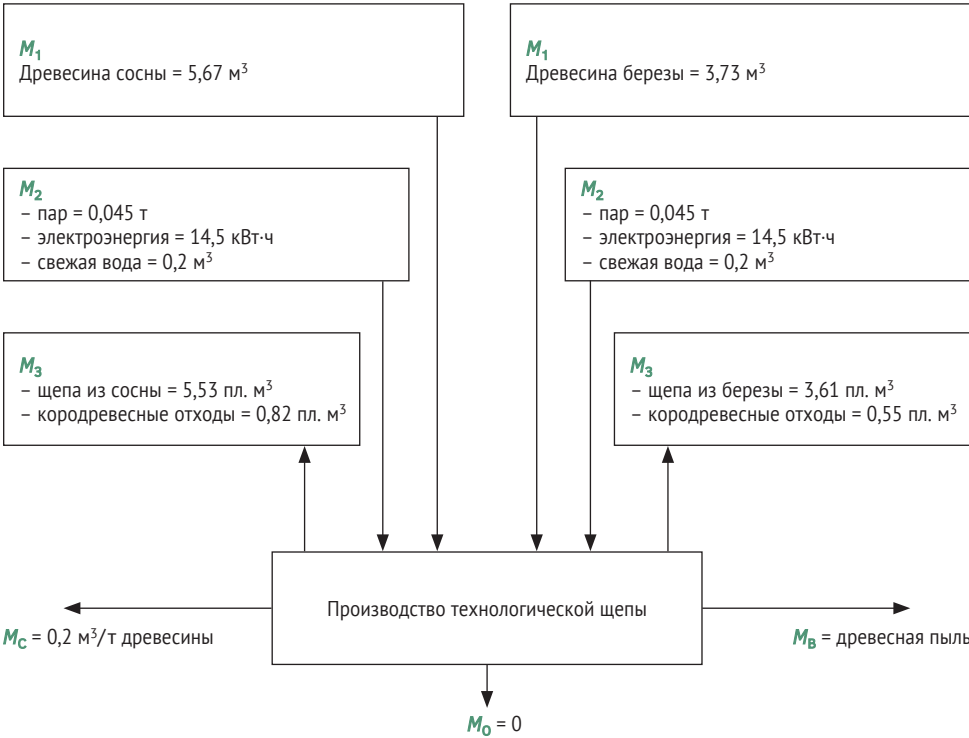


Рис. 17. Материальный баланс производства технологической щепы на 1 т в. с. ц.

Таблица 31. Материальный баланс производства технологической щепы из хвойных и лиственных пород древесины в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Объем, пл. м ³	Статья баланса	Объем, пл. м ³
Кора на древесине	0,68	Кородревесные отходы	0,82
Сосновая* древесина без учета коры	5,67	Технологическая щепка из хвойных пород	5,53
ИТОГО	6,35	ИТОГО	6,35
Кора на древесине	0,43	Кородревесные отходы	0,55
Березовая* древесина без учета коры	3,73	Технологическая щепка из лиственных пород	3,61
ИТОГО	4,16	ИТОГО	4,16

Примечание: Приемка поступающей балансовой древесины на площадку завода производится методом расчета, в котором кора не учитывается.

Варка целлюлозы (см. рис. 16, п. 1.2)

Отсортированная технологическая щепка поступает в варочный котел. Цель процесса варки — растворить инкрустирующие вещества древесины щепы (лигнин) в щелочном варочном растворе (смесь гидроксида натрия и сульфата натрия) и максимально сохранить целлюлозу и гемицеллюлозы, чтобы получить массу волокон с оптимальной механической прочностью и оптимальным содержанием остаточного лигнина для последующей менее затратной отбелки целлюлозы.

Таблица 32. Описание технологического процесса сульфатной варки древесной щепы для получения целлюлозы

Входной поток		Технологическая щепка, белый варочный щелок, пар среднего и низкого давления, фильтрат от стадии промывки целлюлозы
Стадия технологического процесса		Сульфатная варка целлюлозы
Вид технологического процесса		Растворение межклеточного вещества древесной ткани щепы с целью разделения на единичные клетчковолокна
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Растворение варочным щелоком лигнина и гемицеллюлоз в древесине щепы. Вытеснение черного щелока из массы сваренной целлюлозы промывным фильтратом в котле и диффузоре
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Масса целлюлозных волокон, черный щелок на выпарную станцию
	Эмиссии	Выбросы парогазов и сброс утечек и переливов
Оборудование		Транспортирующие конвейеры для щепы, пропарочные камеры, варочный котел, теплообменники для нагрева варочного щелока, промывной диффузор

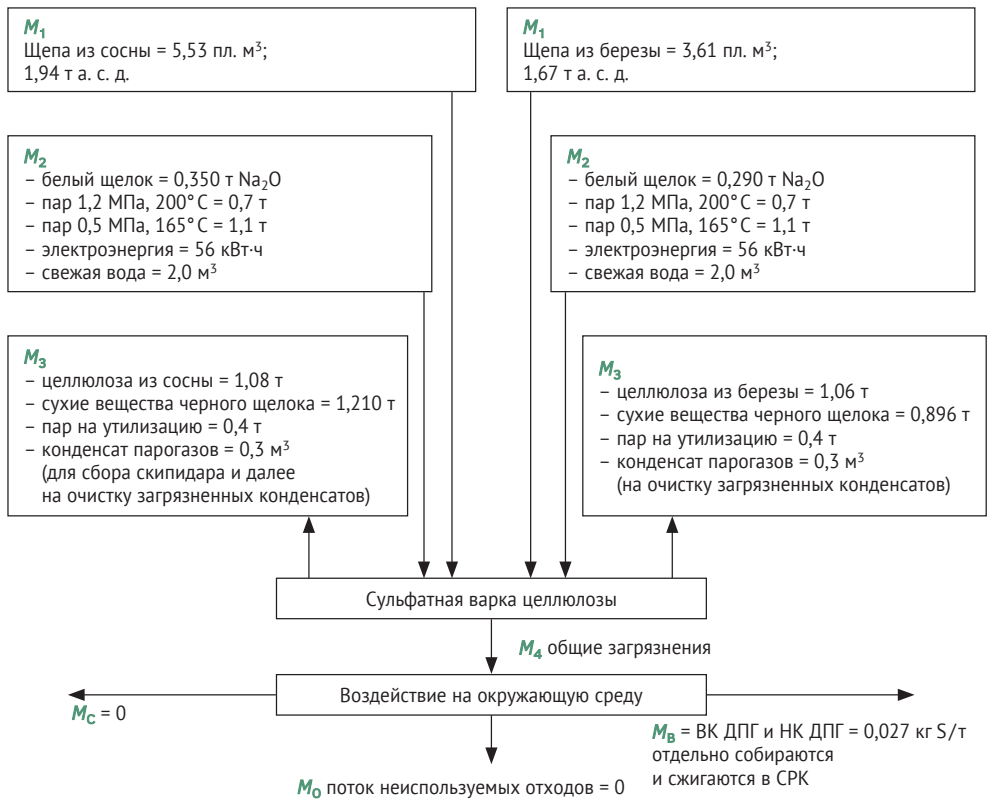


Рис. 18. Материальный баланс сульфатной варки целлюлозы из технологической щепы древесины сосны и березы:

ВК ДПГ – высококонцентрированные дурнопахнущие газы,
НК ДПГ – низкоконцентрированные дурнопахнущие газы

Таблица 33. Материальный баланс сульфатной варки целлюлозы из щепы древесины сосны и древесины березы в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, объем	Статья баланса	Масса, объем
Щепа сосновая, в т. ч.:	3,23 т	Сваренная целлюлоза	1,08 т
– абсолютно сухая древесина	1,94 т (5,53 пл. м ³)		
– вода со щепой	1,29 т		
Белый щелок, в т. ч.:	3,85 т (3,5 м ³)	Черный щелок, в т. ч.:	6 т
– масса всей щелочи в Na ₂ O	0,35 т		
– вода с белым щелоком	3,5 т		
ИТОГО	7,08 т	ИТОГО	7,08 т

Таблица 33 (окончание)

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, объем	Статья баланса	Масса, объем
Березовая щепа, в т. ч.:	2,78 т	Сваренная целлюлоза	1,06 т
– абсолютно сухая древесина	1,67 т		
– вода со щепой	1,11 т		
Белый щелок, в т. ч.:	3,19 т (2,9 м³)	Черный щелок, в т. ч.:	4,91 т
– масса всей щелочи в Na ₂ O	0,29 т		
– вода с белым щелоком	2,9 т		
		– растворенные вещества (а. с. в.), находящиеся в черном щелоке	0,90 т
		– вода с черным щелоком	4,01 т
ИТОГО	5,97 т	ИТОГО	5,97 т

Таблица 34. Тепловой баланс сульфатной варки целлюлозы из щепы древесины сосны в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы¹⁰⁷

	Статья баланса	
1	Расход тепла на пропарку щепы, кДж	
1.1	Нагрев щепы	$(1940 \cdot 1,33 + 1290 \cdot 4,19) \cdot (120 - 20) = 798\,000 \text{ кДж}$
1.2	Потери тепла теплопередачей от наружной поверхности пропарочной камеры:	
1.2.1	Площадь наружной поверхности пропарочной камеры	$\frac{3,14 \cdot 2,2^2}{2} + 3,14 \cdot 2,2 \cdot 8 = 62,5 \text{ м}^2$
1.2.2	Количество теряемого тепла при коэффициенте теплопередачи через теплоизолированные стенки 10 Вт/(м²·°С)	$10 \cdot 62,5 \cdot (120 - 20) = 62\,500 \text{ Вт} = 225\,000 \text{ кДж/ч}$ или на 1 т в. с. щ. составит $225\,000 : \frac{1000}{24} = 5000 \text{ кДж}$
1.3	Общий расход тепла на пропарку $798\,000 + 5000 = 803\,000 \text{ кДж}$ или в кг на 1 т целлюлозы $803\,000 : (2560 - 120 \cdot 4,19) = 300 \text{ кг/т}$, где 2560 кДж/кг – энтальпия пара 0,3 МПа	
2	Расход тепла на варку целлюлозы, кДж:	
2.1	Нагрев пропаренной щепы	$[1940 \cdot 1,33 + (1290 + 300) \cdot 4,19] \cdot (170 - 120) = 462\,000 \text{ кДж}$
2.2	Нагрев белого щелока	$(350 \cdot 1,15 + 3850 \cdot 4,19) \cdot (100 - 70) = 1\,653\,350 \text{ кДж}$
2.3	Нагрев добавленного для гидромодуля черного щелока $(190 \cdot 1,35 + 1925 \cdot 4,19) \cdot (170 - 80) = 749\,000 \text{ кДж}$	

¹⁰⁷По исходным данным для расчета и методике расчета, приведенной в книге: Непенин Ю. Н. Производство сульфатной целлюлозы. — М., 1990. — С. 179–181.

Таблица 34 (окончание)

Статья баланса		
2.4	Потери тепла теплопередачей от наружной поверхности варочного котла:	
2.4.1	Площадь наружной поверхности варочного котла (условно примем цилиндр диаметром 6 м и высотой 80 м)	$3,14 \cdot 80 \cdot 6 = 1510 \text{ м}^2$
2.4.2	Количество теряемого тепла при коэффициенте теплопередачи через теплоизолированные стенки 12 Вт/(м ² ·°С)	$12 \cdot 1510 \cdot (140 - 20) = 2\,180\,000 \text{ Вт} =$ $= 7\,850\,000 \text{ кДж/ч}$ или на 1 т в. с. ц. составит $7\,850\,000 : \frac{1000}{24} = 188\,000 \text{ кДж}$
3	Сумма расходных статей теплового баланса $462\,000 + 1\,653\,350 + 188\,000 + 749\,000 = 3\,052\,000 \text{ кДж}$	
4	Расчет количества тепла от экзотермических реакций на 1 т в. с. целлюлозы	$1940 \cdot 19\,000 \cdot 0,012 = 442\,000 \text{ кДж}$, где – теплота горения для сосны 19000 кДж/кг а. с. д. – тепло экзотермических реакций принято 1,2 % от теплоты горения древесины
5	Расход тепла на варку без учета тепла экзотермических реакций $3\,052\,000 - 442\,000 = 2\,610\,000$	
6	Расчет расхода насыщенного пара давлением 1,2 МПа (энтальпия 2790 кДж/кг) для непрямого нагрева подогревателей циркуляционных систем варочного котла, нагревающих щелок до 170° С $2\,610\,000 : [2790 - (180 \cdot 4,19)] = 1280 \text{ кг/т целлюлозы}$, где 180° С – температура конденсата, отводимого от подогревателей	

Примечание: Исходные данные: варочная установка 1000 т/сут; начальная температура щепы 20° С; теплоемкость древесины 1,33 кДж/(кг·°С); температура пропарки щепы 120° С; размеры пропарочной камеры: наружный диаметр 2,2 м, длина 8 м; начальные температуры варочных щелоков: белый 70° С, черный 80° С; размеры варочного котла: общая высота 80 м; диаметр верхней цилиндрической части 5,5 м, нижней 6,5 м.

Грубое и тонкое сортирование сваренной целлюлозы (см. рис. 16, п. 1.3)

Сортирование целлюлозы производят в центробежной сортировке, которая состоит из герметично закрытого корпуса, сортирующего сита со щелевыми прорезями, ротора с гидродинамическими лопастями для создания давления на массу с целью проталкивания ее сквозь сито и привода. Сортирование обычно осуществляют по схеме в три-четыре ступени для удаления из массы сучков и непровара (грубое сортирование), которые способны вывести из строя оборудование, применяемое на последующих стадиях тонкого сортирования, и прессовое оборудование, используемое для промывки массы. Узелки волокон удаляют на стадии тонкого сортирования.

Таблица 35. Описание технологического процесса сортирования сваренной массы целлюлозы

Входной поток		Масса сваренной целлюлозы
Стадия технологического процесса		Грубое и тонкое сортирование
Вид технологического процесса		Отделение из массы целлюлозы сучков (грубое сортирование) и непровара (тонкое сортирование)
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Продавливание массы через сетчатую перегородку, на которой остаются сучки. Для удаления костры масса продавливается через щелевые прорезы на сортирующем сите, на котором остается костра отделения
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Сортированная масса целлюлозы без сучков и костры. Масса сучков, и костры на повторную варку или на размол в производстве картона
	Эмиссии	Сброс утечек и переливов
Оборудование		Сортировки для грубого и тонкого сортирования массы в технологической схеме из 3–4 ступеней

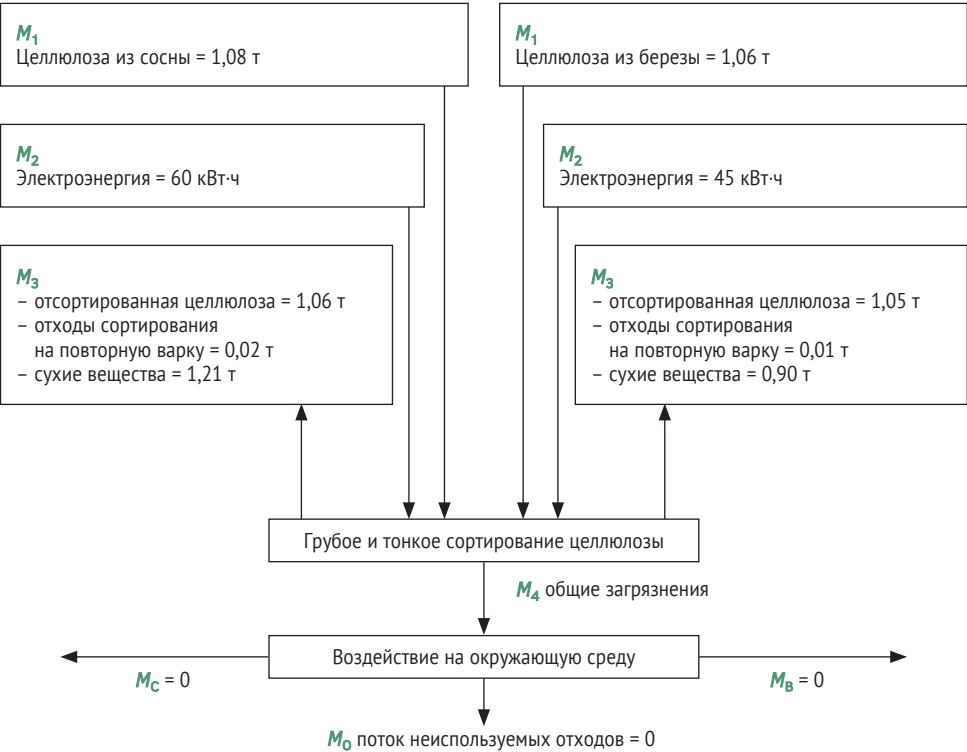


Рис. 18. Материальный баланс грубого и тонкого сортирования целлюлозы из древесины сосны и березы

Таблица 36. Материальный баланс грубого и тонкого сортирования сваренной целлюлозы в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Сваренная целлюлоза из сосны	1,08	Отсортированная целлюлоза	1,06
		Растворенные абсолютные сухие вещества черного щелока	1,21
Растворенные абсолютные сухие вещества черного щелока	1,21	Отходы сортирования, направляемые на повторную варку	0,02
ИТОГО	2,29	ИТОГО	2,29
Сваренная целлюлоза из березы	1,064	Отсортированная целлюлоза	1,05
		Растворенные абсолютные сухие вещества черного щелока	0,896
Растворенные абсолютные сухие вещества черного щелока	0,896	Отходы сортирования, направляемые на повторную варку	0,01
ИТОГО	1,96	ИТОГО	1,96

Промывка сваренной целлюлозы (см. рис. 16, п. 1.4)

Цель процесса промывки — наиболее полное извлечение растворенных веществ из массы целлюлозы при минимально возможном расходе промывной жидкости, минимальной продолжительности процесса и с отбором более концентрированного раствора щелока для последующего выпаривания, что определяет экономичность процесса промывки и цикла регенерации химикатов и соответствуют НДТ.

Таблица 37. Описание технологического процесса промывки отсортированной массы целлюлозы

Входной поток		Масса отсортированной целлюлозы
Стадия технологического процесса		Промывка целлюлозы
Вид технологического процесса		Удаление из целлюлозы остаточного содержания растворенных веществ черного щелока
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Последовательные разбавления целлюлозы промывной жидкостью и отбором жидкой фазы в процессе фильтрации через сетку или механическим отжимом
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Промытая масса целлюлозы, промывной фильтрат направляется на промывку массы в котле
	Эмиссии	Сброс утечек и переливов. Выбросы парогазов
Оборудование		Вакуум-фильтры, столовые фильтры, промывные прессы

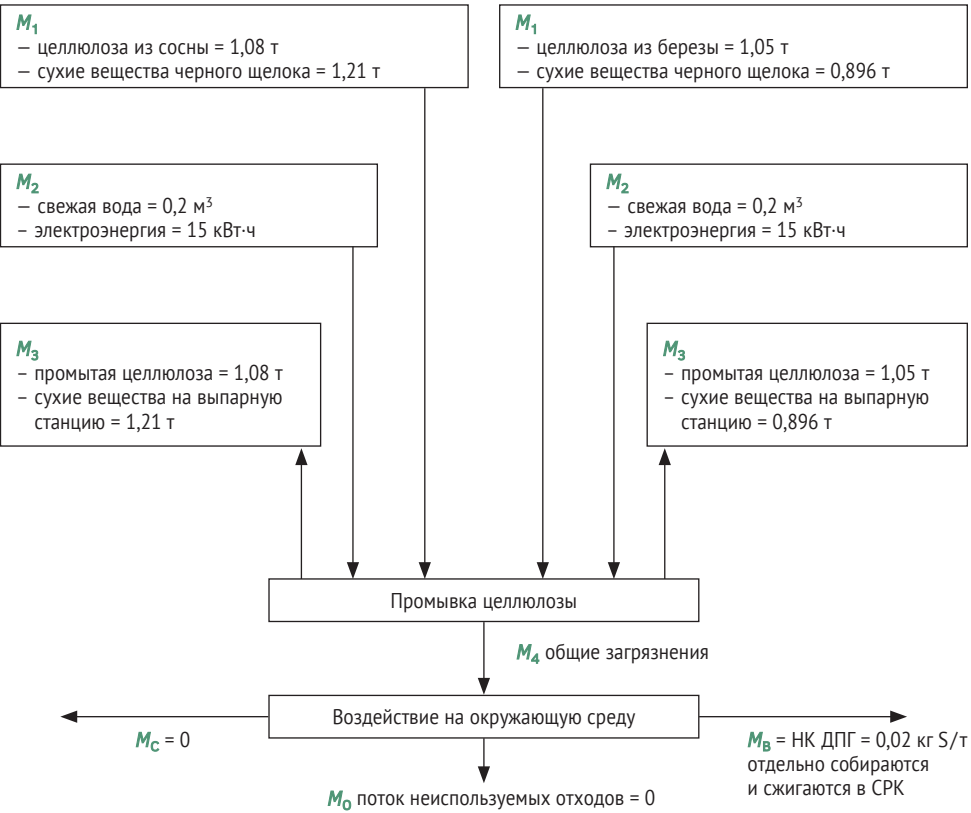


Рис. 19. Материальный баланс промывки целлюлозы из древесины сосны и березы

Таблица 38. Материальный баланс промывки сваренной целлюлозы в расчете на 1 т абсолютно сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Отсортированная целлюлоза из сосны	1,06	Промытая целлюлоза	1,06
Сухие вещества черного щелока, содержащиеся в массе	1,21	Отобранные сухие вещества черного щелока, направляемые на выпарку	1,21
ИТОГО	2,27	ИТОГО	2,27
Отсортированная целлюлоза из березы	1,05	Промытая целлюлоза	1,05
Сухие вещества черного щелока, содержащиеся в массе	0,90	Отобранные сухие вещества черного щелока, направляемые на выпарку	0,90
ИТОГО	1,95	ИТОГО	1,95

Кислородно-щелочная делигнификация (см. рис. 16, п. 1.5)

Удаление остаточного лигнина из небеленой целлюлозы производят в реакторе молекулярным кислородом и щелочью при повышенной температуре и избыточном давлении. В качестве щелочного реагента используют окисленный белый щелок. При кислородно-щелочной делигнификации (КЩД) хвойной целлюлозы для предотвращения ее деструкции из-за присутствия металлов переменной валентности применяют добавку MgSO_4 .

Цель КЩД — дополнительно снизить степень делигнификации (содержание остаточного лигнина) в целлюлозе перед отбелкой:

- для хвойной целлюлозы с 35 до 13 единиц Каппа, или на 64 %, при использовании двухступенчатой кислородно-щелочной делигнификации. Содержание остаточного хвойного лигнина в целлюлозе снижается с 48 до 18 кг/т, следовательно, 30 кг/т остаточного лигнина не попадает на химическую обработку в отбельный цех, что приводит к экономии отбеливающих реагентов. Кроме того, лигнин, растворенный на ступени КЩД в горячем растворе щелочи под воздействием кислорода, поступает вместе с черным хвойным щелоком на сжигание в СРК и не попадает на очистные сооружения, что снижает сброс ХПК на ~ 40 кг/т в. с. ц.
- для лиственной целлюлозы с 21 до 11 единиц Каппа, или на 50 %, при использовании одноступенчатой кислородно-щелочной делигнификации. Содержание остаточного лиственного лигнина в целлюлозе снижается с 28 до 8 кг/т, следовательно, 20 кг/т остаточного лигнина не попадает на химическую обработку в отбельный цех, что приводит к экономии отбеливающих реагентов. Аналогично хвойному лигнину лиственный, растворенный на ступени КЩД, поступает вместе с черным лиственным щелоком на сжигание в СРК и не попадает на очистные сооружения, что снижает сброс ХПК на ~ 20 кг/т в. с. ц.

Эффективная промывка целлюлозы перед ступенью КЩД (ХПК в массе не более 100 кг/т в. с. ц.) обеспечивает наилучшую эффективность кислородной делигнификации, промывка после КЩД (ХПК в массе не более 10 кг/т в. с. ц.) обеспечивает более полное удаление растворенного остаточного лигнина, что сокращает расход химических реагентов в отбельном цехе. Фильтрат от промывки целлюлозы после КЩД направляется на промывку целлюлозы после варки, и это возвращает щелочь, затраченную на КЩД, в систему регенерации варочных химикатов.

Данные технические решения КЩД и последующей промывки соответствуют НДТ.

Таблица 39. Описание технологического процесса кислородно-щелочной делигнификации целлюлозы

Входной поток		Масса отсортированной целлюлозы
Стадия технологического процесса		Масса промытой целлюлозы
Вид технологического процесса		Кислородно-щелочная делигнификация целлюлозы
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Обработка целлюлозы раствором щелочи и кислородом под избыточным давлением при повышенной температуре. Промывка целлюлозы для удаления растворенного остаточного лигнина
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Целлюлоза с пониженным содержанием остаточного лигнина (пониженной степени делигнификации), фильтрат от промывки целлюлозы после КЩД на выпарную станцию
	Эмиссии	Сброс утечек и переливов, выбросы парогазов
Оборудование		Вакуум-фильтры, промывные прессы, башня КЩД

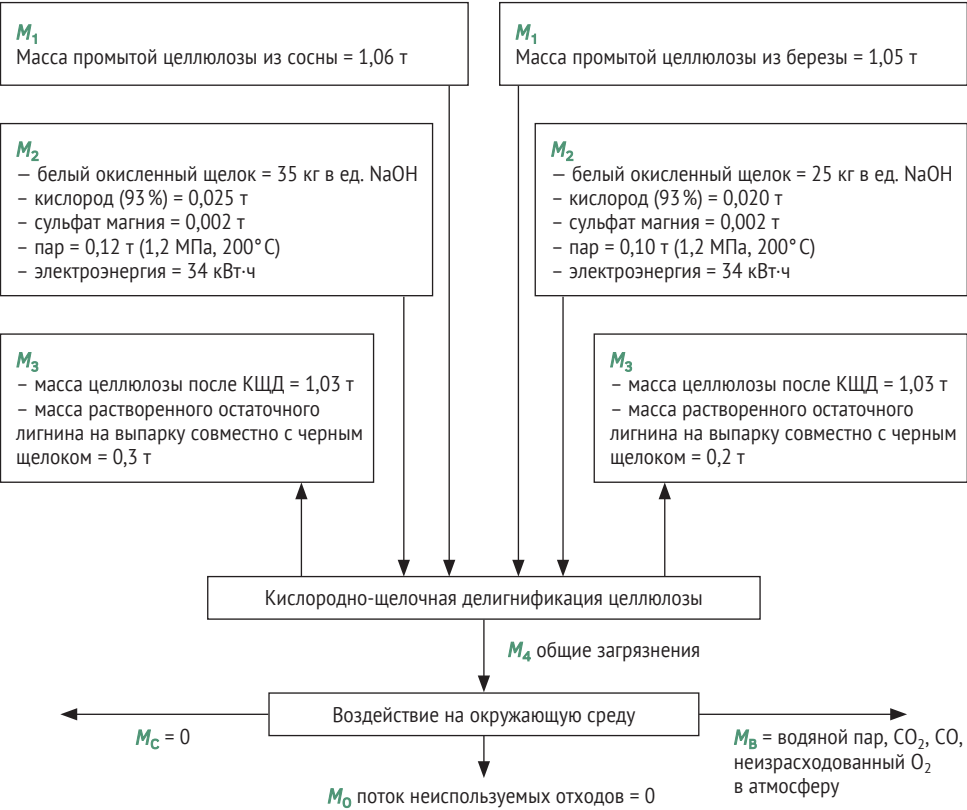


Рис. 20. Материальный баланс кислородно-щелочной делигнификации целлюлозы из древесины сосны и березы

Таблица 40. Материальный баланс кислородно-щелочной делигнификации
в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Промытая целлюлоза с жесткостью 35 ед. Каппа и белизной 30 %	1,06	Целлюлоза после кислородно-щелочной делигнификации с жесткостью 13 ед. Каппа и белизной 35 %	1,03
		Растворенные сухие вещества остаточного лигнина, которые направляются вместе с черным щелоком на выпарку	0,03
ИТОГО	1,06	ИТОГО	1,06
Промытая целлюлоза с жесткостью 21 ед. Каппа и белизной 35 %	1,05	Целлюлоза после кислородно-щелочной делигнификации с жесткостью 11 ед. Каппа и белизной 40 %	1,03
		Растворенные сухие вещества остаточного лигнина, которые направляются вместе с черным щелоком на выпарку	0,02
ИТОГО	1,05	ИТОГО	1,05

Отбелка целлюлозы
(см. рис. 16, п. 1.6)

После КЩД промытая целлюлоза поступает в отбельный цех. Цель отбелки — повысить белизну целлюлозы с 35–40 до 83–90 % за счет удаления из волокна остатков окрашенных инкрустирующих веществ без ухудшения физико-механических свойств волокон.

В схемах отбелки ECF без применения молекулярного хлора, соответствующих НДТ, многоступенчатый процесс отбелки протекает в отдельных отбельных башнях с чередованием кислых и щелочных ступеней. Это связано с окислением остаточного лигнина на кислотной ступени диоксида хлора и растворением продуктов реакции на щелочной стадии. Удаление растворенных веществ производят на стадии промывки между ступенями, например с помощью пресса и горячей промывной воды. Завершает отбелку ступень кисловки, назначением которой является стабилизация белизны целлюлозы за счет более полного удаления окрашенных продуктов и металлов переменной валентности.

Технологические схемы отбелки ECF с использованием в качестве отбеливающих реагентов: диоксида хлора (ClO_2), молекулярного кислорода (O_2), пероксида водорода (H_2O_2) и озона (O_3), — соответствуют НДТ.

Таблица 41. Описание технологического процесса отбелки целлюлозы по схеме $D_0 - \text{ЩОП} - D_1 - K$ для хвойной и по схеме $(A)D_0 - \text{ЩОП} - D_1 - K$ для лиственной целлюлозы с промывкой на промывных прессах между ступенями отбелки

Входной поток		Масса промытой целлюлозы после КЩД
Стадия технологического процесса		Отбелка целлюлозы
Вид технологического процесса		Отбелка целлюлозы по схеме $D_0 - \text{ЩОП} - D_1 - K$
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Последовательная обработка целлюлозы раствором диоксида хлора, щелочным раствором, содержащим молекулярный кислород и пероксид водорода, повторная обработка диоксидом хлора и завершающая обработка сернистой кислотой
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Беленая целлюлоза
	Эмиссии	Фильтраты от промывки целлюлозы после кислотных и щелочных ступеней отбелки, выбросы парогазов
Оборудование		Башни отбельные, вакуум-фильтры, фильтры под давлением, промывные прессы, башни хранения массы до и после отбелки

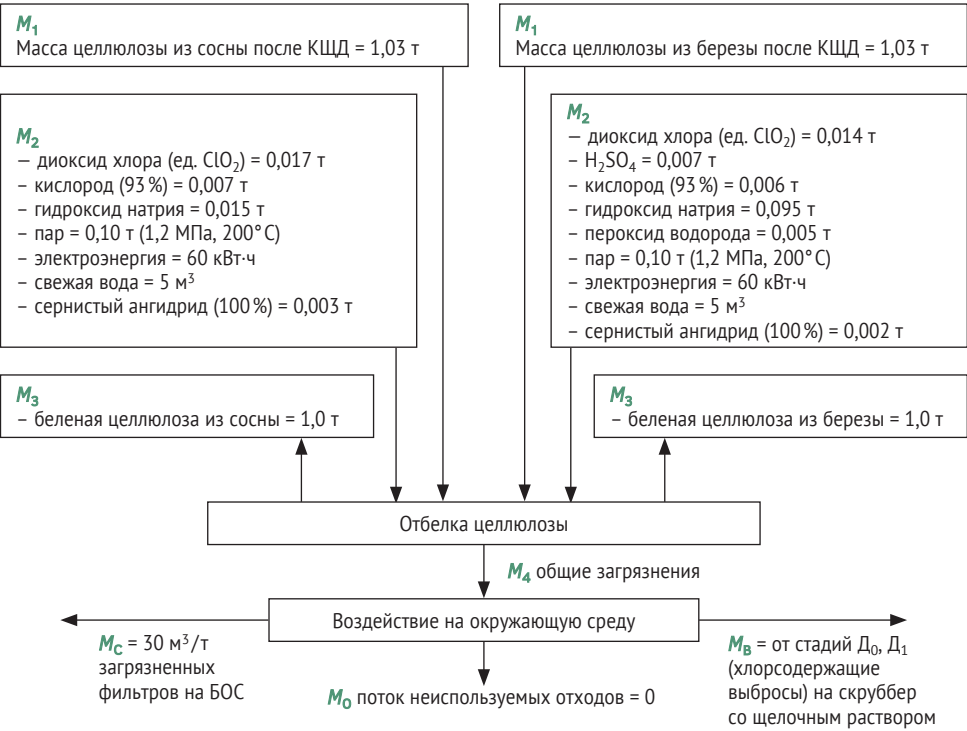


Рис. 21. Материальный баланс отбелки целлюлозы из древесины сосны по схеме $D_0 - \text{ЩОП} - D_1 - K$ и по схеме $(A)D_0 - \text{ЩОП} - D_1$ целлюлозы из березы

Таблица 42. Материальный баланс отбелки для хвойной целлюлозы по схеме D_0 – ЩОП – D_1 – К и лиственной целлюлозы (А) D_0 – ЩОП – D_1 в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Целлюлоза из сосны после кислородно-щелочной делигнификации с белизной 35 %	1,00	Беленая целлюлоза, жесткость 0 ед. Каппа и белизна 90 %	1,00
Остаточный лигнин в целлюлозе при жесткости 13 ед. Каппа	0,03	Растворенный остаточный лигнин в фильтрах отбельной установки направляется на очистные сооружения	0,03
ИТОГО	1,03	ИТОГО	1,03
Целлюлоза из березы после кислородно-щелочной делигнификации с белизной 40 %	1,00	Беленая целлюлоза, жесткость 0 ед. Каппа и белизна 90 %	1,00
Остаточный лигнин в целлюлозе при жесткости массы 9 ед. Каппа	0,03	Растворенный остаточный лигнин в фильтрах отбельной установки направляется на очистные сооружения	0,03
ИТОГО	1,03	ИТОГО	1,03

Таблица 43. Типичное потребление электроэнергии при производстве отбеливающих химических веществ¹⁰⁸

Степень отбелки	Потребление электроэнергии, кВт·ч / кг химических веществ
Диоксид хлора (D)	10,0
Кислород (O)	0,4
Озон (Z)	10,0
Пероксид (P)	3,5
Щелочь (E)	1,6

Очистка целлюлозы (см. рис. 16, п. 1.7)

Установка для тонкой очистки целлюлозы состоит из рядов установленных вихревых конических очистителей закрытого типа, представляющих собой коническую трубу, имеющую тангенциальный входной патрубок, размещенный в стенке со стороны большого основания, в котором имеется и выходной патрубок для очищенной массы. Патрубок для выпуска отходов расположен аксиально в нижнем конусе конической трубы.

¹⁰⁸ Основано на: Suhr M. European Commission. Best Available Techniques (BAT). — P. 217.

Таблица 44. Описание технологического процесса очистки целлюлозы на вихревых конических очистителях

Входной поток		Масса беленой целлюлозы
Стадия технологического процесса		Очистка целлюлозы
Вид технологического процесса		Удаление из массы узелков волокон и посторонних включений
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Метод основан на центробежной силе, возникающей за счет кругового движения массы в коническом корпусе очистителя
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Очищенная целлюлоза
	Эмиссии	Сброс утечек и переливов
Оборудование		Вихревые конические очистители в многоступенчатых схемах очистки на центриклинерах

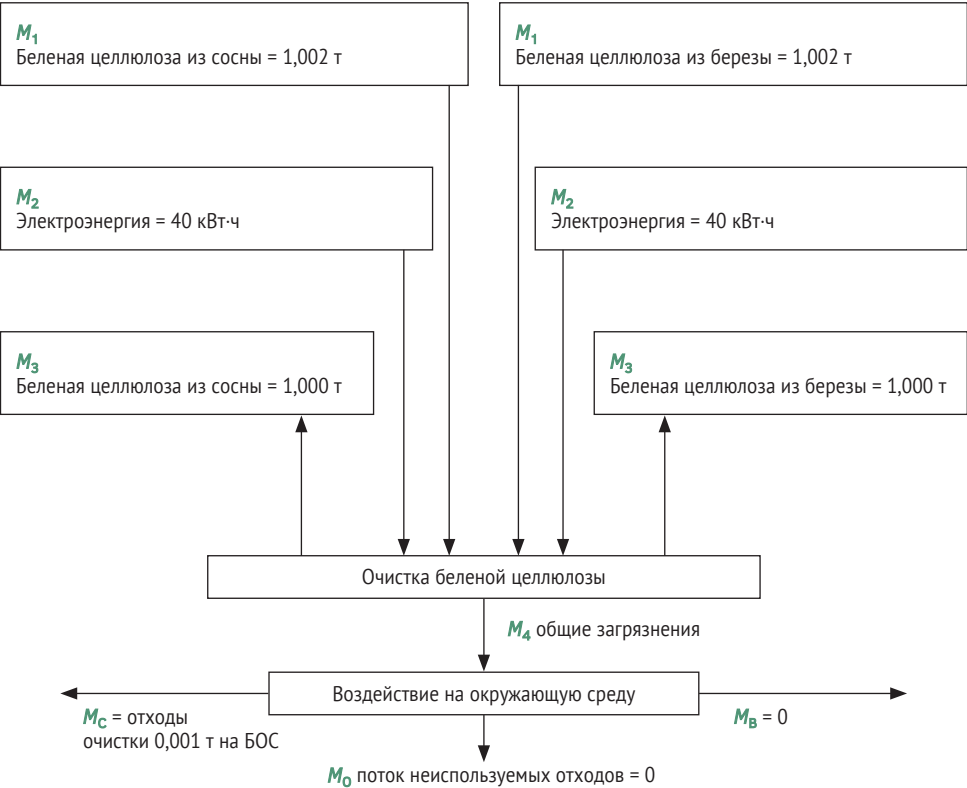


Рис. 22. Материальный баланс очистки беленой целлюлозы из древесины сосны и березы на вихревых очистителях

Таблица 45. Материальный баланс очистки беленой целлюлозы
в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Беленая целлюлоза из сосны	1,000	Беленая целлюлоза из сосны после очистки	1,000
Содержание узелков волокон в массе беленой целлюлозы	0,001	Отходы очистки целлюлозы на очистные сооружения	0,001
ИТОГО	1,001*	ИТОГО	1,001*
Беленая целлюлоза из березы	1,000	Беленая целлюлоза после очистки	1,000
Содержание узелков волокон в массе беленой целлюлозы	0,002	Отходы очистки целлюлозы на очистные сооружения	0,002
ИТОГО	1,002*	ИТОГО	1,002*

* Приведены потери массы при очистке беленой хвойной целлюлозы, которые составляют 0,1 %, или 1 кг/т в. с. ц., и потери для лиственной целлюлозы 0,2 %, или 2 кг/т в. с. ц.

Сушка на пресспате, резка и упаковка целлюлозы (см. рис. 16, п. 1.8)

Отбеленная целлюлоза жидким потоком поступает на производство бумаги (интегрированное предприятие) или на сушильную машину (пресспат) для получения товарной целлюлозы, предназначенной сторонним потребителям. Пресспат состоит из двух частей — мокрой (сеточной и прессовой) и сушильной (цилиндровой или воздушной). Целлюлозная суспензия отливается и обезвоживается на сеточном столе до сухости непрерывного целлюлозного полотна 23 % и передается в прессовую часть, в которой отжимается на нескольких прессах до сухости полотна 50–55 %. В сушильной части происходит сушка полотна до 10–15 % влажности на сушильных цилиндрах или воздухом в сушильном шкафу. Затем полотно охлаждают на холодильных цилиндрах и подают на продольно-резательный станок для резки на рулоны или на саморезку для разрезания на листы форматом 800 × 600 мм, обеспечивающие максимальную загрузку транспортного контейнера. Кипа целлюлозных листов автоматически взвешивается, затем прессуется до определенной высоты. Далее она упаковывается в бумагу и обертывается проволокой.

Таблица 46. Описание технологического процесса сушки целлюлозы на пресспате с цилиндровой сушильной частью, резки и упаковки товарной целлюлозы

Входной поток		Масса отбеленной и очищенной целлюлозы
Стадия технологического процесса		Отлив, прессование и сушка полотна, резка, взвешивание и упаковка кип
Вид технологического процесса		Получение папки товарной целлюлозы, резка на листы, взвешивание кип и их упаковка
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Отлив полотна целлюлозы на сетке, отжим полученного полотна в прессах, сушка глухим паром на цилиндрах. Резка ножами на форматы, складывание кип и их упаковка
Технологический цикл		Производство целлюлозы
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Кипы товарной целлюлозы
	Эмиссии	Выбросы водяного пара
Оборудование		Пресспат

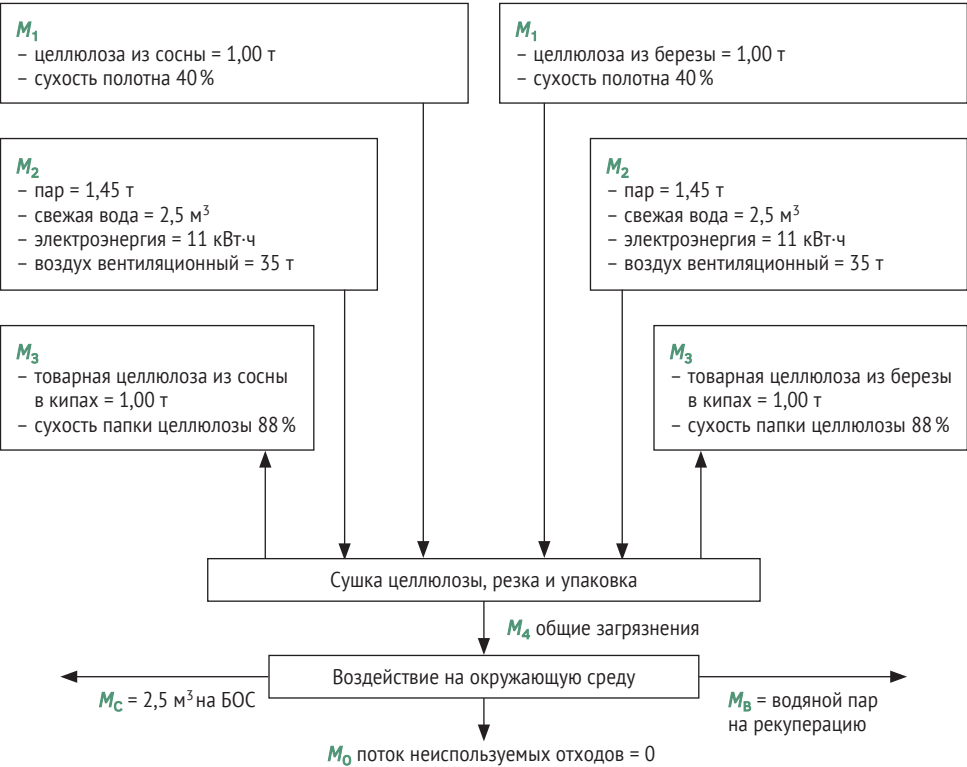


Рис. 23. Материальный баланс сушки целлюлозы в цилиндровой сушильной части пресспата, резки и упаковки товарной целлюлозы из древесины сосны и березы

Таблица 47. Материальный баланс сушки беленой целлюлозы
в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Беленая абсолютно сухая очищенная целлюлоза из сосны	1,00	Беленая абсолютно сухая товарная целлюлоза из сосны	1,00
Вода в целлюлозе при сухости массы 40 %	1,50	Вода в товарной целлюлозе при сухости массы 88 %	0,12
		Испаренная вода	1,38
ИТОГО	2,50	ИТОГО	2,50
Беленая абсолютно сухая очищенная целлюлоза из березы	1,00	Беленая абсолютно сухая товарная целлюлоза из березы	1,00
Вода в целлюлозе при сухости массы 40 %	1,50	Вода в товарной целлюлозе при сухости массы 88 %	0,12
		Испаренная вода	1,38
ИТОГО	2,50	ИТОГО	2,50

Производство бумаги
(см. рис. 16, п. 1.9)

Производство бумаги начинается с подготовки бумажной массы в соответствии с требуемой композицией по волокну и добавки различных веществ для проклейки и наполнителей, что определяет будущие потребительские свойства бумаги. Затем масса в виде суспензии 2,5–3,0 % поступает в напорный ящик бумагоделательной машины (БДМ), обеспечивающий ее выход на сетку равномерным слоем по всей ширине и с необходимой скоростью. После прохождения сеточного стола сформованное и частично обезвоженное до 20 % сухости полотно поступает в прессовую часть машины, в которой обезвоживается под действием нагрузки до 50 % сухости и затем в сушильной части — до 93–96 %. За одну минуту целлюлозное волокно проходит все участки машины, имеющей, например, такие размеры: длина — 200 м, ширина — 10 м и средняя скорость работы — 1600 м/мин. На конце БДМ располагается накат, наматывающий бумагу в рулоны, которые разрезаются на продольно-резательных станках (рулонная бумага) или на листорезке режутся на листы (форматы), которые складываются, взвешиваются и упаковываются в пачки.

Таблица 48. Описание технологического процесса производства офисной бумаги

Входной поток		Масса отбеленной и очищенной целлюлозы; свежая вода
Стадия технологического процесса		Производство бумаги
Вид технологического процесса		Создание композиции по волокну и наполнителям, отлив полотна бумаги, прессование, сушка, намотка тамбура, резка на форматы, упаковка
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Размол массы, отлив полотна бумаги на сетке, отжим влаги в прессах, сушка полотна глухим паром, резка полотна ножами
Технологический цикл		Производство бумаги на интегрированном предприятии
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Упакованные пачки бумаги; подсеточная вода
	Эмиссии	Сброс загрязненных вод на БОС, выброс водяного пара
Оборудование		Бумагоделательная машина, бумагорезательное оборудование для продольной и поперечной резки полотна

Таблица 49. Материальный баланс производства офисной бумаги на интегрированном предприятии в расчете на 1 т

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Беленая целлюлоза из сосны, абсолютно сухое вещество	0,13	Бумага офисная, абсолютно сухое вещество	0,955
Беленая целлюлоза из березы, абсолютно сухое вещество	0,57		
Мел	0,25	Содержание влаги в бумаге (влажность 4,5%)	0,045
Крахмал	0,04		
Клей	0,01		
ИТОГО композиция массы для отлива бумаги	1,000	ИТОГО композиция товарной бумаги	1,000
Вода на разбавление массы для отлива бумаги	15,005	Потери (промои) абсолютно сухих веществ из композиции бумаги (0,5%) с подсеточной водой	0,050
		Подсеточная вода после отлива бумаги	14,955
ИТОГО поступает на БДМ	16,005	ИТОГО выходит после БДМ	16,005

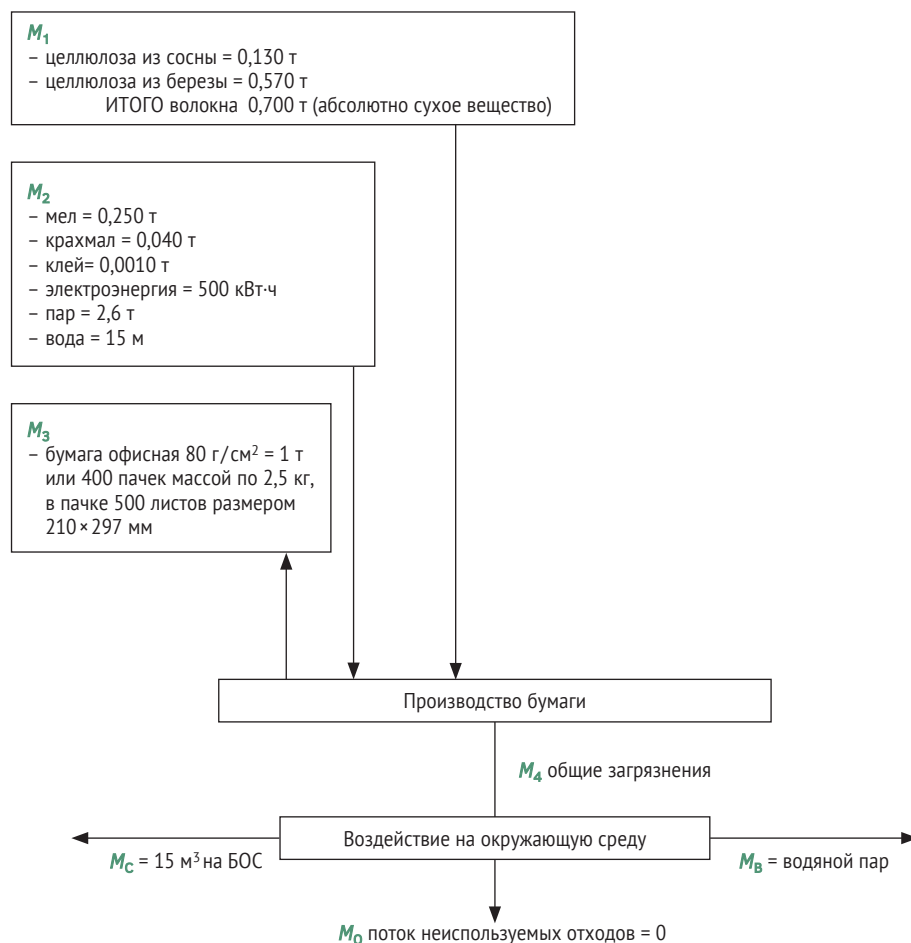


Рис. 24. Материальный баланс производства офисной бумаги из целлюлозы древесины сосны и березы в расчете на 1 т в.с. бумаги

Съем сульфатного мыла с черных щелоков (см. рис. 16, п. 1.10)

Эффективность работы сульфатцеллюлозного завода зависит в числе прочего и от более полного съема сульфатного мыла, которое является поверхностно-активным веществом и наличие которого в черном щелоке осложняет работу выпарных станций и требует дополнительной чистки выпарных аппаратов от быстро образующихся отложений. В питающем щелоке, поступающем на выпарную станцию, содержание мыла поддерживают на уровне не более 1% в пересчете на сырое талловое масло (СТМ) относительно абсолютно сухого вещества черного щелока.

Черный щелок отстаивают в баках-отстойниках. В щелоке протекает процесс электролитической коагуляции, и в результате смесь солей и неомыляемых

веществ (сульфатное мыло) образует мицеллы (мицеллярное мыло). За счет разницы в плотности веществ сульфатного мыла 0,95–0,98 г/см³ и питательного щелока 1,075–1,100 г/см³ (при 15° С) происходит их разделение и сульфатное мыло собирается на поверхности щелока. Мыло снимается либо непрерывно скребковым устройством или скиммером, либо периодически, когда один-два раза в сутки поднимается уровень щелока в баке и мыло на поверхности щелока переливается в сборный лоток. Собранное мыло идет на переработку в талловое масло.

Таблица 50. Описание технологического процесса съема сульфатного мыла с черного щелока в расчете на 1 т в.с. целлюлозы

Входной поток		Слабый и полуупаренный черный щелок
Стадия технологического процесса		Съем мыла из слабого и полуупаренного черного щелока
Вид технологического процесса		Получение обезмыленного черного щелока
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Высаливание мыла в черном щелоке, диффузия мицелл из объема щелока к поверхности, счерпывание мыла
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Сульфатное мыло, черный щелок очищенный от ПАВ
	Эмиссии	Выбросы НК ДПК, сброс утечек и переливов
Оборудование		Баки для отстоя щелоков

Таблица 51. Материальный баланс съема сульфатного мыла (в пересчете на СТМ) с черного щелока в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Вещества сульфатного мыла в щеле в пересчете на СТМ	0,060	Потери СТМ с промытой целлюлозой	0,002
		Потери СТМ с черным концентрированным щелоком, поступающем на сжигание в СРК	0,005
		Потери СТМ со стоками от промывки целлюлозы и выпарной станции	0,001
		Сульфатное мыло в пересчете на СТМ, собранное с черного щелока для переработки	0,052
ИТОГО	0,060	ИТОГО	0,060

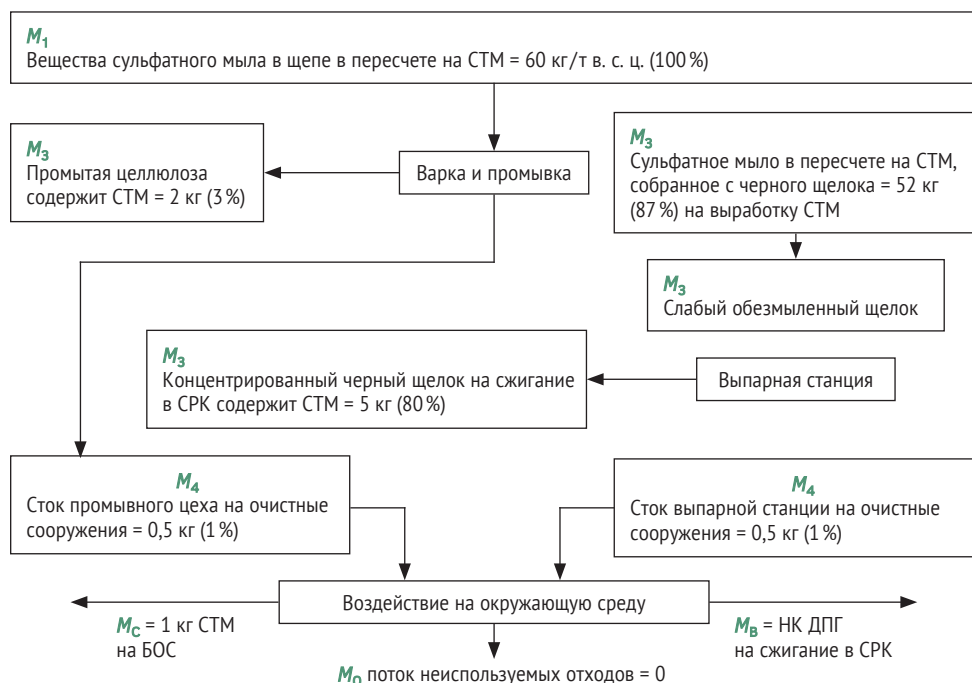


Рис. 25. Материальный баланс съема сульфатного мыла с черного щелока в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

На рисунке 26 представлена схема дальнейшей переработки обезмыленного черного щелока по стадиям технологического процесса получения белого варочного щелока, которые будут детально рассмотрены далее.

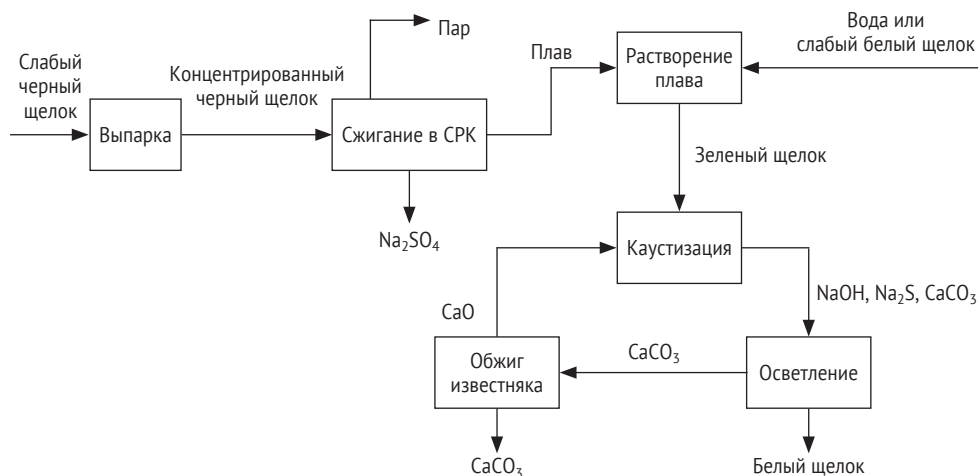


Рис. 26. Схема стадий в системе регенерации растворенных химических веществ черного щелока и получения белого щелока

Выпаривание черного щелока (см. рис. 16, п. 1.11)

Процесс выпарки черного щелока осуществляют с целью удаления избыточной влаги, поскольку для правильной организации процесса сжигания крепкого черного щелока в СРК необходима массовая доля сухих веществ не менее 57 %. Однако для увеличения производительности СРК и уменьшения загрязненности его газовых выбросов содержание сухих веществ оптимально на уровне более 80 %.

Технологический процесс на стадии выпарки состоит из выпаривания щелока на вакуум-выпарной станции и последующего концентрирования плотного щелока на суперконцентраторах. Для выпарки сульфатных щелоков применяют вертикальные выпарные аппараты с падающей пленкой. В составе цельносварного аппарата — кипятильник, который расположен наверху, под ним кипяточные трубки и внизу — сепаратор. Щелок подают в верхнюю щелочную камеру, и он стекает вниз по стенкам кипяточных трубок пленкой, подгоняемой образующимся паром. Греющий пар вводится в верхний уровень трубок, конденсат удаляется снизу. Вторичный пар удаляется в сепараторе с помощью решетки и отводится из аппарата. Аппараты пленочного типа работают в составе 5–7 корпусных батарей с паропроизводительностью от 12 до 22 кг/(м²·ч). Далее сгущенный щелок с концентрацией 57 % абсолютно сухого вещества (а. с. в.) поступает на концентраторы для сгущения до 67 % а. с. в. и на суперконцентраторы — до 85 %.

Таблица 52. Описание технологического процесса
выпаривания черного щелока

Входной поток		Укрепленный черный щелок без содержания ПАВ; пар среднего давления
Стадия технологического процесса		Выпарка щелока
Вид технологического процесса		Повышение концентрации черного щелока для сжигания в СРК
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Выпарка влаги черного щелока паром через теплопроводящую перегородку
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Концентрированный черный щелок, загрязненные конденсаты
	Эмиссии	Выбросы НК ДПГ на сжигание в СРК и сброс на БОС
Оборудование		Выпарная станция, суперконцентраторы

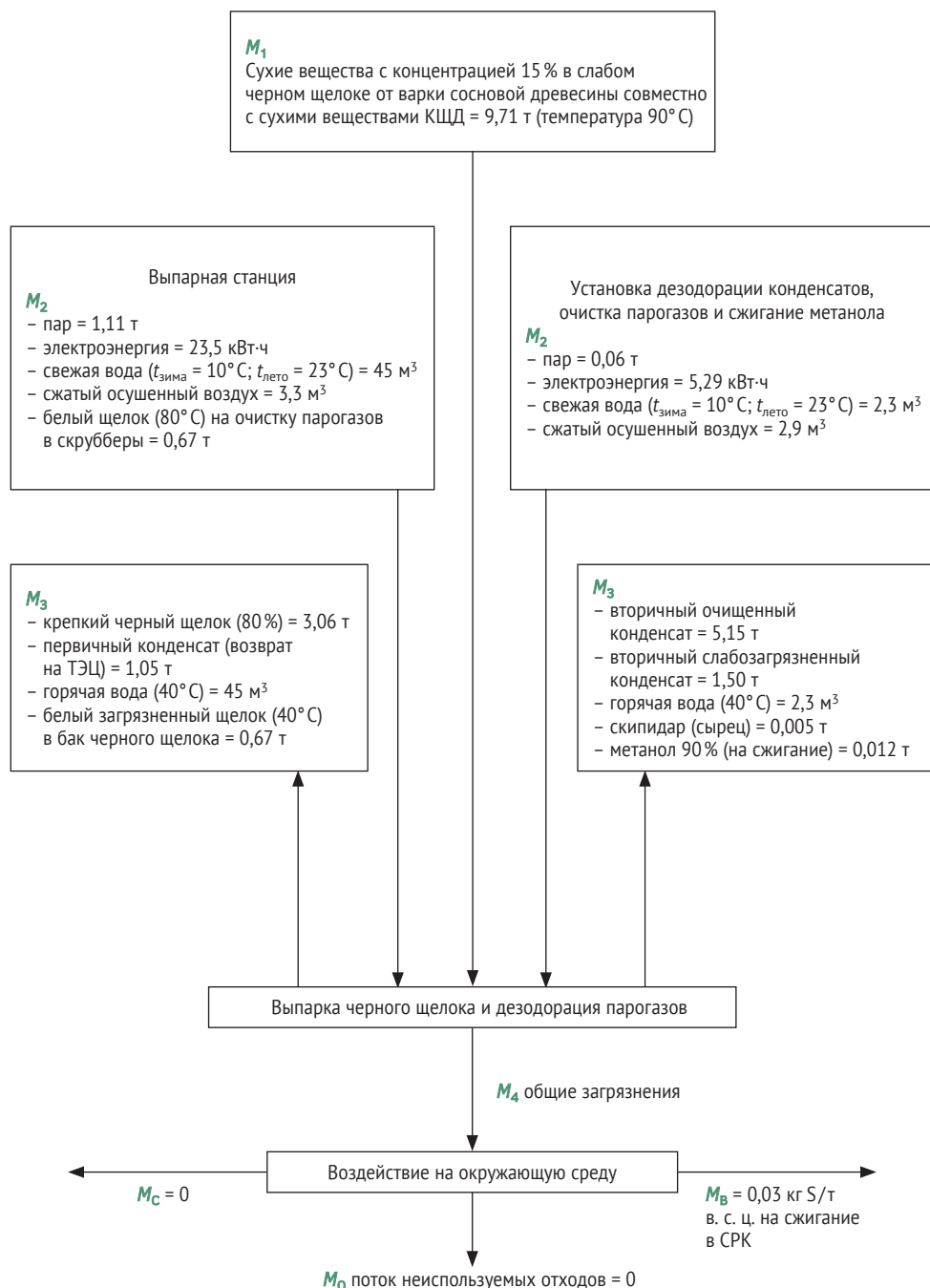


Рис. 27. Материальный баланс выпарки черного щелока совместно со щелоком КЩД и дезодорации парогазов в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из сосны

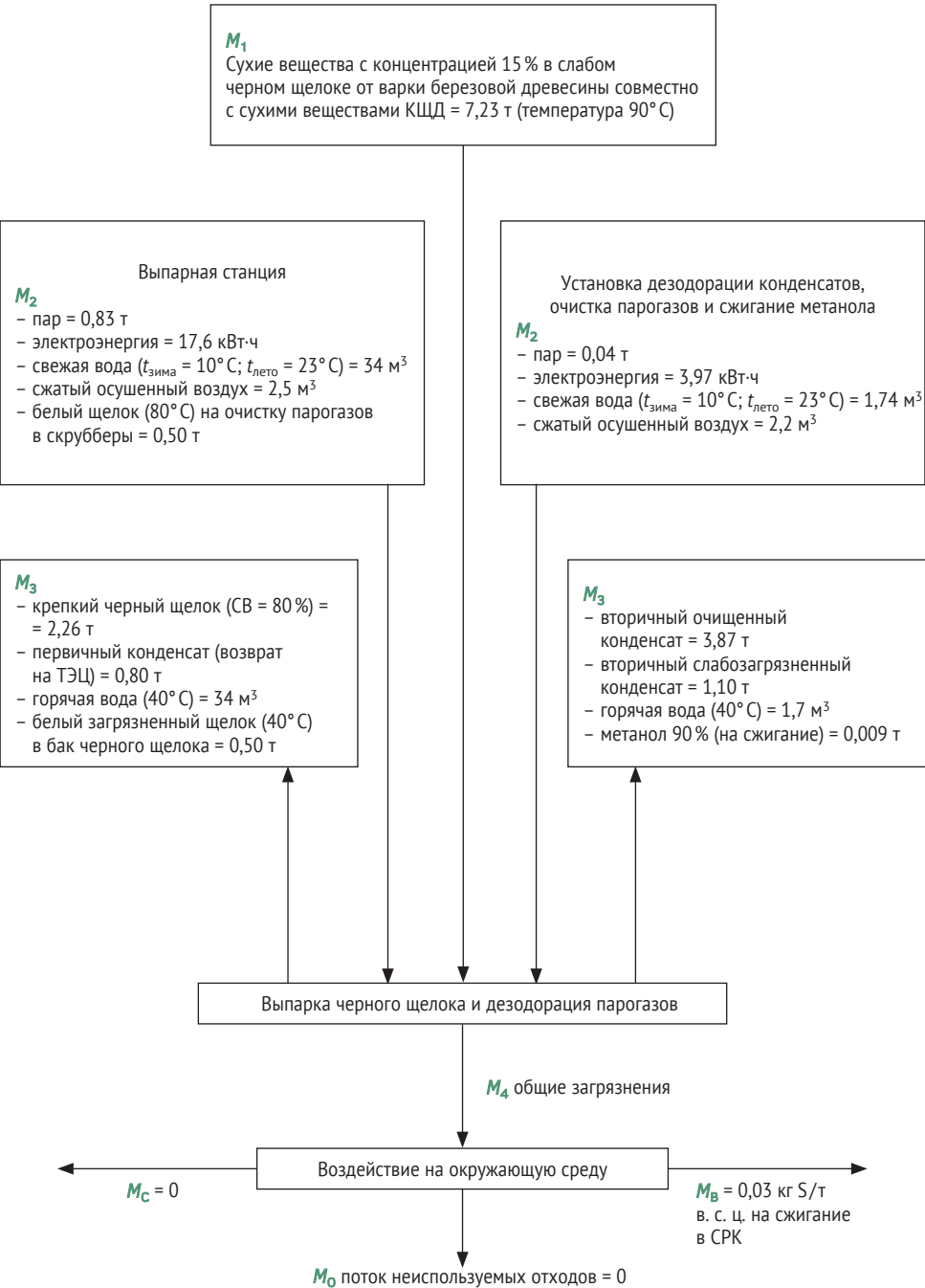


Рис. 28. Материальный баланс выпарки черного щелока совместно со щелоком КЩД и дезодорации парогазов в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из березы

Таблица 53. Материальный баланс выпарки черного щелока совместно со щелоком КЩД и дезодорации парогазов в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из сосны и березы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Слабый черный щелок из сосновой древесины, в т. ч.:	9,31	Концентрированный черный щелок из сосновой древесины после термообработки для снижения вязкости, в т. ч.:	3,39
– сухие вещества слабого черного щелока	1,21	– сухие вещества концентрированного черного щелока	1,21
– вода в слабом черном щелоке (концентрация сухих веществ 15 %)	8,10	– вода в концентрированном черном щелоке (концентрация 80 %)	1,51
Щелок от КЩД сосновой целлюлозы, в т. ч.:	2,30	– сухие вещества щелока от КЩД	0,30
– сухие вещества щелока от КЩД	0,30	– вода в щелоке КЩД (концентрация сухих веществ 80 %)	0,37
– вода в щелоке КЩД (концентрация сухих веществ 15 %)	2,00	Испаренная влага	8,22
ИТОГО	11,61	ИТОГО	11,61
Слабый черный щелок из березовой древесины, в т. ч.:	6,90	Концентрированный черный щелок из березовой древесины после термообработки для снижения вязкости, в т. ч.:	2,48
– сухие вещества черного щелока	0,90	– сухие вещества концентрированного черного щелока	0,90
– вода в слабом черном щелоке (концентрация сухих веществ 15 %)	6	– вода в концентрированном черном щелоке (концентрация 80 %)	1,13
Щелок от КЩД березовой целлюлозы, в т. ч.:	1,53	– сухие вещества щелока от КЩД	0,20
– сухие вещества щелока от КЩД	0,20	– вода в щелоке КЩД (концентрация сухих веществ 80 %)	0,25
Вода в щелоке КЩД (концентрация сухих веществ 15 %)	1,33	Испаренная влага	5,95
ИТОГО	8,43	ИТОГО	8,43

Стадия сжигания черного щелока (см. рис. 16, п. 1.12 и 1.17)

В сульфатцеллюлозном производстве регенерация химических реагентов из черного варочного щелока NaOH и Na_2S составляет 97 %. Помимо этого, современные СРК генерируют пар с давлением 11 МПа и с температурой 510°C в количестве 3,8 кг и более пара на 1 кг сжигаемых сухих веществ черного щелока и вырабатывают электроэнергии более чем 0,6 кВт·ч/кг сухих веществ черного щелока. Необходимо отметить также и экологическую функцию содорегенерационного котлоагрегата (СРК), которая позволяет снижать выбросы загрязняющих веществ за счет организации процесса сжигания черного щелока и высококонцентрированных дурнопахнущих газов (ВК ДПГ), поступающих со всех участков производственной линии.

Общий вид содорегенерационного котлоагрегата для сжигания черного щелока представлен на рисунке 29. На рисунке 30 показан общий вид топки СРК сверху и три факела от сжигания природного газа в качестве примера организации сжигания черного щелока. На стенах топки (экраны из труб) видны три ряда отверстий для подачи воздуха.



Рис. 29.
Общий вид СРК



Рис. 30.
Демонстрационный
вид сверху топки СРК

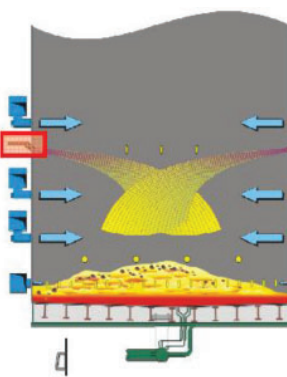


Рис. 31.
Схема подачи через форсунки
щелока и на четырех уровнях
подача воздуха в топку
(презентация фирмы Metso)

Схема подачи щелока и воздуха в топку дана на рисунке 31. Струи капель горячего щелока подают внутрь топки (показаны желтым цветом). Дутьем первичного воздуха регулируют температуру слоя огарка на поду, вторичным сжигают газы, поднимающиеся из расплава, и третичный воздух (выше щелочковых форсунок) обеспечивает полное сгорание и оптимальное избыточное содержание кислорода в дымовых газах. В некоторых котлах устанавливают дутье четвертичным воздухом для дальнейшего снижения уровня сброса загрязнений в отходящих газах (NO_x).

Таблица 54. Описание технологического процесса сжигания черного щелока

Входной поток		Концентрированный черный щелок после термообработки (СВ = 80 %)
Стадия технологического процесса		Сжигание черного щелока
Вид технологического процесса		Получение тепловой энергии из органической части и плава солей из минеральной части щелока
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Нагрев щелока, дробление струи щелока на капли, сушка капле, горение органической части капли с получением тепла, и из минеральной части образование расплава солей, восстановление в плаве на поду сульфата до сульфида, образование карбоната натрия
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Плав минеральных солей, пар для выработки электроэнергии
	Эмиссии	Выбросы парогазов
Оборудование		Содорегенерационный котлоагрегат, электрофильтры, турбины

Таблица 55. Тепловой баланс сжигания черного щелока совместно со щелоком КЩД в расчете кДж на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, %

Приход		Расход	
Статья баланса	кДж/%	Статья баланса	кДж/%
Физическое тепло черного щелока	595 000/2,7	Испарение воды из щелока и перегрев водяных паров	3 460 000/15,9
		Физическое тепло плава	495 000/2,3
Физическое тепло сухого воздуха	1 095 000/5,0	Тепло плавления плава	158 600/0,7
		Тепло восстановления сульфата	1 064 000/4,9
		Потери от неполноты сгорания	354 000/1,6
Тепло сгорания сухих веществ черного щелока	20 000 000/92,3	Потери тепла теплопередачей	188 000/0,9
		Физическое тепло сухих дымовых газов	1 230 000/5,7
		Получение пара в паровом котле	14 741 400/68,0
ИТОГО приход тепла в СРК	21 690 000/100	ИТОГО расход тепла в СРК	21 690 000/100

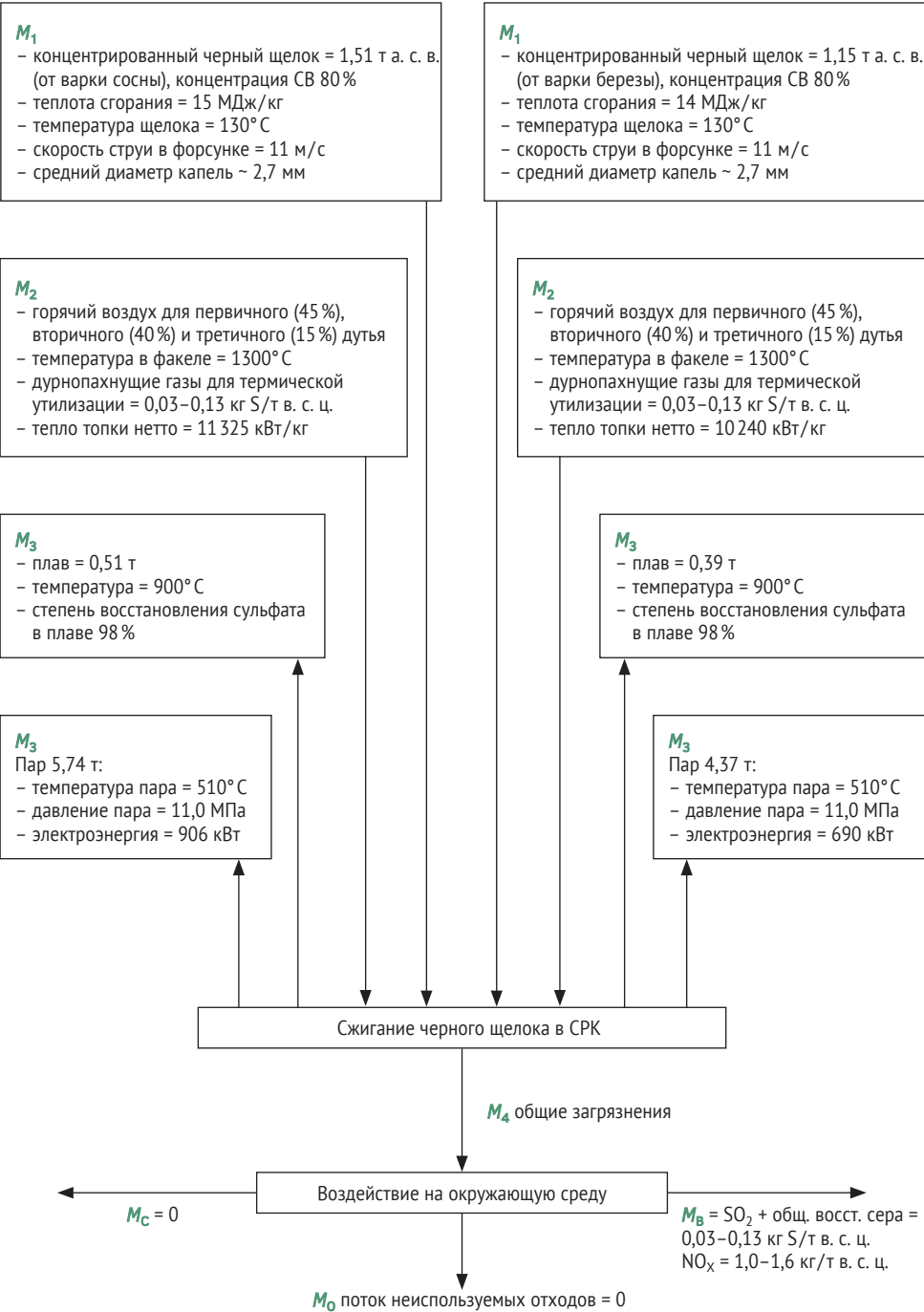


Рис. 32. Материальный баланс сжигания щелока в СРК, производство пара и электроэнергии на 1 т в.с. целлюлозы из древесины сосны и березы

Таблица 56. Материальный баланс сжигания черного щелока совместно со щелоком КЩД в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из древесины сосны и березы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Концентрированный черный щелок (80 %) от варки целлюлозы из древесины сосны, в т. ч.:	3,39	Плав минеральных солей	0,51
– вода	1,88		
– сухие вещества черного щелока, из них:	1,51	С газами	15,16
– органические вещества	1,00		
– минеральные вещества	0,51		
С воздухом	12,28		
Вещества образовались в процессе по химическим реакциям	2,76	Вещества образовались в процессе по химическим реакциям	2,76
ИТОГО поступает в СРК	18,43	ИТОГО расход из СРК	18,43
Концентрированный черный щелок (80 %) от варки целлюлозы из древесины березы, в т. ч.:	2,48	Плав минеральных солей	0,39
– вода	1,38		
– сухие вещества черного щелока, из них:	1,10	С газами	11,13
– органические вещества	0,71		
– минеральные вещества	0,39		
С воздухом	9,04		
Вещества образовались в процессе по химическим реакциям	2,35	Вещества образовались в процессе по химическим реакциям	2,35
ИТОГО поступает в СРК	13,87	ИТОГО расход из СРК	13,87

Стадия растворения плава (получение зеленого щелока)
(см. рис. 16, п. 1.12.1)

Образующийся на поду топки СРК плав солей, например, массой ~ 530 кг (из расчета на 1 т целлюлозы) состоит в основном из Na_2CO_3 (72–73 %), Na_2S (15–24 %), Na_2SO_4 и других соединений (2–4 %). Полученный расплав солей стекает с пода котла через летку (рис. 33 и 34), охлаждаемую водой, в бак растворителя плава, в котором его растворяют в слабом белом щелоке из цеха каустизации, получая зеленый щелок. Для предотвращения взрыва в растворителе плава его струя, поступающая из летки, дробится подачей пара. Имеется вытяжная труба для отвода образовавшихся парогазов, которые направляют на сжигание. Данное техническое решение соответствует НДТ.



Рис. 33. Вид сбоку летки плава
(презентация фирмы Metso)



Рис. 34. Вид сверху летки,
заполненной плавом
(презентация фирмы Metso)

Таблица 57. Описание технологического процесса растворения плава черного щелока

Входной поток		Плав минеральных солей; слабый белый щелок
Стадия технологического процесса		Получение зеленого щелока
Вид технологического процесса		Растворение плава
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Растворение плава слабым белым щелоком
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Зеленый щелок
	Эмиссии	Выбросы ДПГ и SO_2
Оборудование		Летка плава, растворитель плава

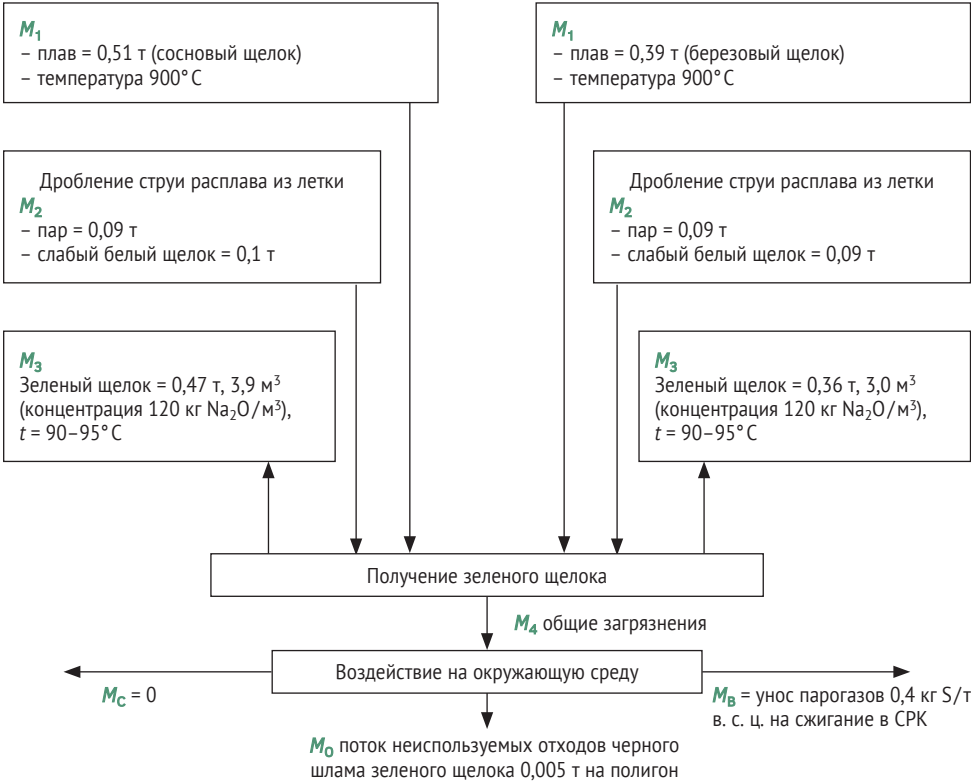


Рис. 35. Материальный баланс получения зеленого щелока

Таблица 58. Материальный баланс растворения плава черного щелока
в расчете Na₂O на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из древесины сосны и березы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, объем	Статья баланса	Масса, объем
Плав черного щелока от варки сосны	0,51 т	Крепкий зеленый щелок	0,47 т 3,9 м³
Вся щелочь в ед. Na ₂ O в слабом белом щелоке на растворение плава	0,10 т 3,9 м³	Шлам зеленого щелока	0,14 т
ИТОГО	0,61 т 3,9 м³	ИТОГО	0,61 т 3,9 м³
Плав черного щелока от варки березы	0,39 т	Крепкий зеленый щелок	0,36 т, 3,0 м³
Вся щелочь в ед. Na ₂ O в слабом белом щелоке на растворение плава	0,09 т, 3,0 м³	Шлам зеленого щелока	0,12 т
ИТОГО	0,48 т, 3,0 м³	ИТОГО	0,48 т, 3,0 м³

**Стадия получения белого щелока (каустизации зеленого щелока)
(см. рис. 16, п. 1.13)**

Цель каустизации — перевод неактивной формы щелочи Na_2CO_3 в активную NaOH за счет реакции $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH}$.

Начало процесса каустизации — гашение извести в гасителях-классификаторах. Питателем подают дозированное количество негашеной извести, а из баков-накопителей поступает предварительно подогретый до 70°C осветленный крепкий зеленый щелок при концентрации $105\text{--}130\text{ г/дм}^3$ в единицах Na_2O . Для поддержания в гасителе-классификаторе температуры 100°C подается острый насыщенный пар давлением $0,3\text{ МПа}$, температурой 134°C с расходом $0,2\text{ т}$ на 1 т целлюлозы. В гасителе-классификаторе пребывание извести составляет $20\text{--}25\text{ мин}$ и происходит первичное гашение извести, удаление из реакционной смеси непрореагировавших кусков извести и посторонних минеральных включений. Степень каустизации зеленого щелока из гасителя-классификатора составляет $60\text{--}65\%$. Процесс завершается со степенью каустизации $75\text{--}86\%$ в последовательно установленных трех-четырех каустизаторах в течение $100\text{--}120\text{ мин}$.

Таблица 59. Описание технологического процесса каустизации зеленого щелока для получения белого щелока

Входной поток		Осветленный зеленый щелок
Стадия технологического процесса		Получение белого щелока
Вид технологического процесса		Каустизация зеленого щелока
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Реакция раствора карбоната натрия с гидроксидом кальция с образованием гидроксида натрия и карбоната кальция
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Белый щелок, шлам карбоната кальция
	Эмиссии	Выбросы парогазов
Оборудование		Осветлитель зеленого щелока, гаситель-классификатор, каустизатор, осветлитель белого щелока, полировка белого щелока, промыватели черного шлама и известкового шлама

Таблица 60. Материальный баланс получения белого щелока (каустизация зеленого щелока) в единицах Na_2O в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из древесины сосны и березы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, объем	Статья баланса	Масса, объем
Зеленый щелок (щелок от варки сосны)	$0,47\text{ т в ед. Na}_2\text{O}$	Белый щелок	$0,35\text{ т в ед. Na}_2\text{O}, 3,50\text{ м}^3$

Таблица 60 (окончание)

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, объем	Статья баланса	Масса, объем
Обожженная известь	0,25 т в ед. CaO	Известковый шлам	0,32 т
		Потери жидкости с известковым шламом	0,05 т
ИТОГО поступает на каустизацию	0,72 т	ИТОГО	0,72 т
Зеленый щелок (щелок от варки березы), т общей Na ₂ O/т	0,36 т в ед. Na ₂ O	Белый щелок	0,29 т в ед. Na ₂ O, 2,90 м ³
		Известковый шлам	0,30 т
Обожженная известь	0,25 т в ед. CaO	Потери жидкости с известковым шламом	0,02 т
ИТОГО	0,61 т	ИТОГО	0,61 т

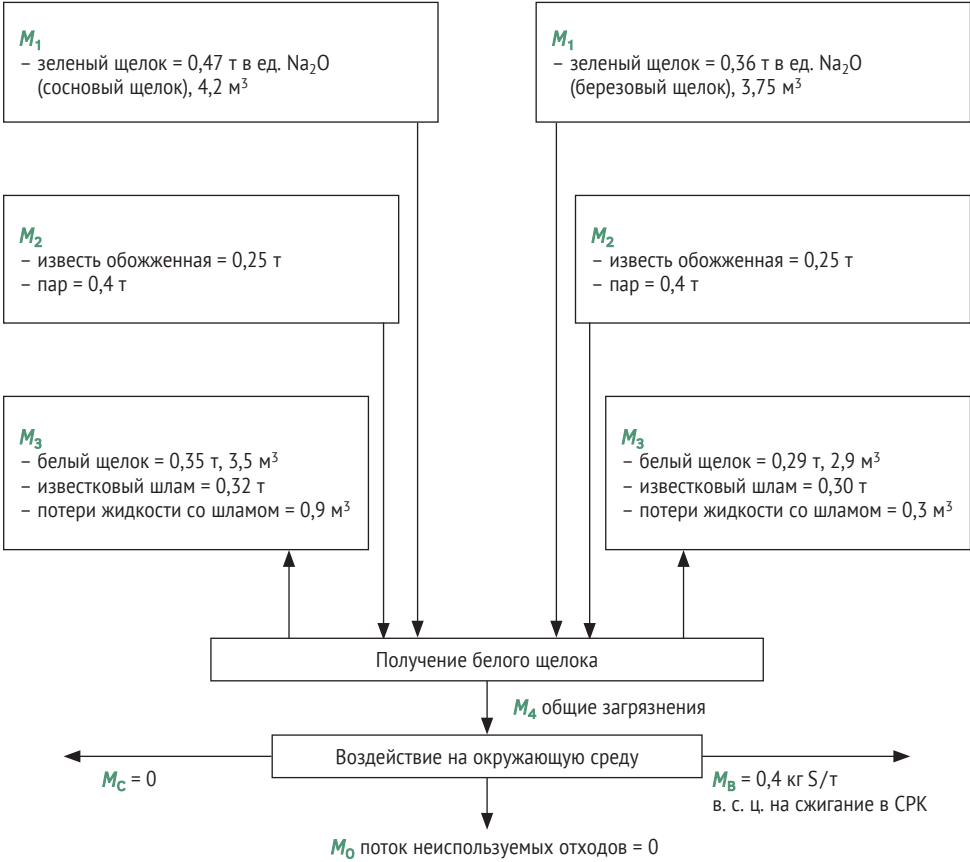
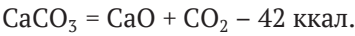


Рис. 36. Материальный баланс получения белого щелока (каустизация)

Регенерация извести (см. рис. 16, п. 1.14)

Каустизационный (белый) шлам CaCO_3 после отделения белого крепкого и слабого щелока направляют для обжига в ИРП при температуре 1000°C :



Для обжига применяют мазут, газ, ВК ДПГ, метанол, скипидар, синтез-газ из биотоплива.

Степень регенерации извести составляет ~ 90 %. Восполнение ее потерь осуществляют добавлением свежего известняка в ИРП. Шлам с сухостью 40 % подают на вакуум-фильтр. В зоне фильтрации на сетке происходит отекание жидкости и на сетке образуется шлам осадка. Далее проходят зоны обезвоживания, уплотнения осадка, промывки горячей водой и обезвоживания промытого осадка. В промытом осадке остаточная щелочность не выше 0,5–0,75 % Na_2O . Фильтрат от промывки шлама в виде слабого белого щелока направляют на растворение плава СРК для получения зеленого щелока.

Из баков-накопителей промытый шлам сухостью 75 % винтовыми конвейерами подают в известерегенерационную печь (ИРП). Повышение концентрации шлама с 60 до 80 % позволяет экономить 35 % топлива. Данное техническое решение соответствует НДТ.

Таблица 61. Описание технологического процесса регенерация извести

Входной поток		Шлам извести (карбонат кальция)
Стадия технологического процесса		Регенерация извести из каустизационного шлама
Вид технологического процесса		Обжиг шлама
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Промывка шлама, сушка, обжиг, охлаждение, дробление
Технологический цикл		Регенерация извести
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Известь — окись кальция
	Эмиссии	Выбросы парогазов
Оборудование		Промывной фильтр, известерегенерационная печь, охладители (рекуператоры), дробилки извести

Таблица 62. Материальный баланс регенерации извести в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы из древесины сосны и березы

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Известковый шлам (щелок от варки сосны), в т. ч.:	0,42	Обоженная известь: CaO — 85 %; остальные 15 %: CaCO_3 , Na_2O , инертные примеси	0,320

Таблица 62 (окончание)

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
– минеральная часть: CaCO_3 – 90 %; остальные 10 %: CaOH_2 , Na_2O , инертные примеси	0,32	Унос водяных паров, CO_2 , пыли	0,134
– вода	0,100		
Известняк на восполнение потерь	0,034		
ИТОГО поступает в ИРП	0,454	ИТОГО расход в ИРП	0,454
Известковый шлам (щелок от варки березы), в т. ч.:	0,400	Обоженная известь: CaO – 85 %, CaCO_3 – 5 %, остальные 10 %: Na_2O , инертные примеси	0,300
– минеральная часть: CaCO_3 – 90 %; остальные 10 %: CaOH_2 , Na_2O , инертные примеси	0,300		
– вода	0,100		
Известняк на восполнение потерь	0,026	Унос водяных паров, CO_2 , пыли	0,126
ИТОГО поступает в ИРП	0,426	ИТОГО расход в ИРП	0,426

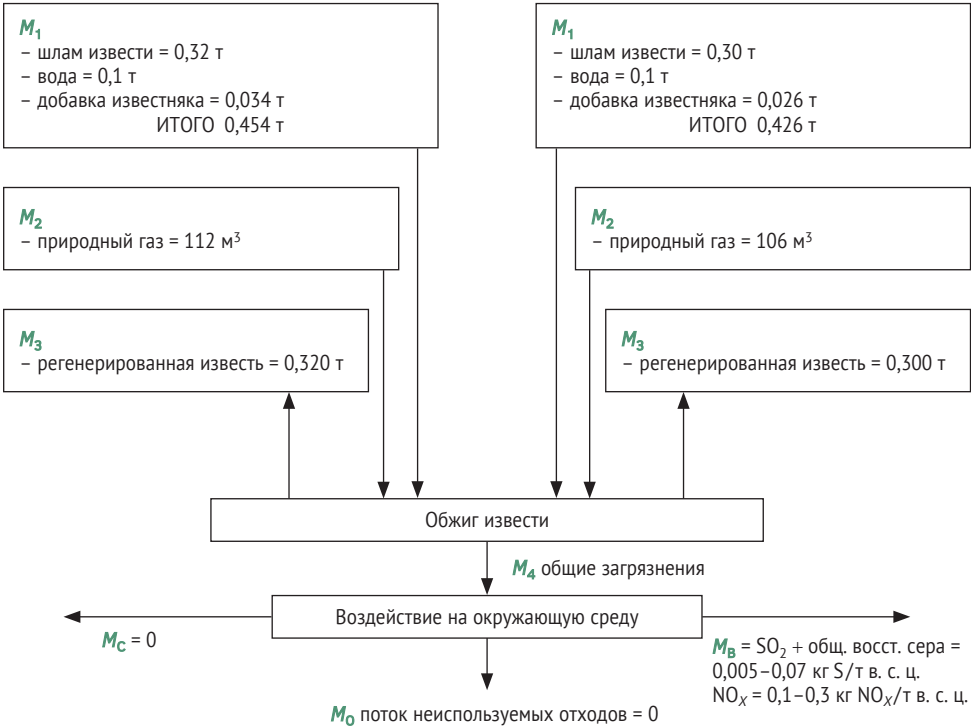


Рис. 37. Материальный баланс регенерации извести (обжиг каустизационного шлама)

Сжигание кородревесных отходов (см. рис. 16, п. 1.15)

Наиболее распространенным способом сжигания кородревесных отходов (КДО) и осадков очистных сооружений является технология кипящего слоя с достаточно высоким КПД котлов.

Теплота сгорания любых отходов переработки древесины хвойных и лиственных пород при прочих равных условиях различается незначительно. Исключение составляют лишь отходы переработки березы, представляющие собой более калорийное топливо. Решающим фактором, определяющим рабочую теплоту сгорания отходов, является их влажность и зольность. При влажности отходов 60 % и зольности рабочего топлива 3 % для хвойных и лиственных пород величина низшей теплоты сгорания КДО $Q_H^p = 5610$ кДж/кг, тогда как для КДО березы при тех же условиях $Q_H^p = 6650$ кДж/кг. Однако при снижении влажности хвойной древесины до 55 %, или только на 5 %, при той же зольности 3 % величина Q_H^p возрастает сразу на 20 % и составляет уже 6920 кДж/кг. Поэтому при подготовке щепы стремятся использовать технологии, позволяющие получать влажность КДО менее 55 %.

Таблица 63. Описание технологического процесса производства тепловой энергии

Входной поток		Кородревесные отходы; избыточный активный ил
Стадия технологического процесса		Получение пара
Вид технологического процесса		Сжигание кородревесных отходов и избыточного активного ила
Метод воздействия на материальный ресурс / предмет труда		Термическое воздействие
Технологический цикл		Производство энергии
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Выработка пара
	Эмиссии	Выбросы парогазов, зола
Оборудование		Энергетические котлы со взвешенным слоем

Таблица 64. Масса КДО, получаемых с 1 м³ различных пород древесины при подготовке щепы, и их перевод в условное топливо

Порода древесины	Масса КДО при подготовке щепы, кг с 1 м³ круглого леса		Расчет массы условного топлива из КДО, кг	
	Влажность отходов			
	W = 50 %	W = 60 %	W = 60 %	
на 1 м³			на 1 т целлюлозы*	
Сосна	84	105	20	111
Ель	73	91	17	
Береза	135	169	38	137

Таблица 64 (окончание)

Порода древесины	Масса КДО при подготовке щепы, кг с 1 м³ круглого леса		Расчет массы условного топлива из КДО, кг	
	Влажность отходов			
	W = 50 %	W = 60 %	W = 60 %	
			на 1 м³	на 1 т целлюлозы*
Осина	110	150	28	

* Для приведенных выше расчетов.

Использование коры и древесных отходов влажностью 55 % и зольностью при теплоте сгорания $Q_H^p = 6920$ кДж/кг в условном топливе на 1 т целлюлозы составит:

- для сосновых КДО $B_y = 0,523 \cdot 6920 / (4,19 \cdot 7000) = 0,115$ т,
- для березовых КДО $B_y = 0,549 \cdot 6920 / (4,19 \cdot 7000) = 0,130$ т.

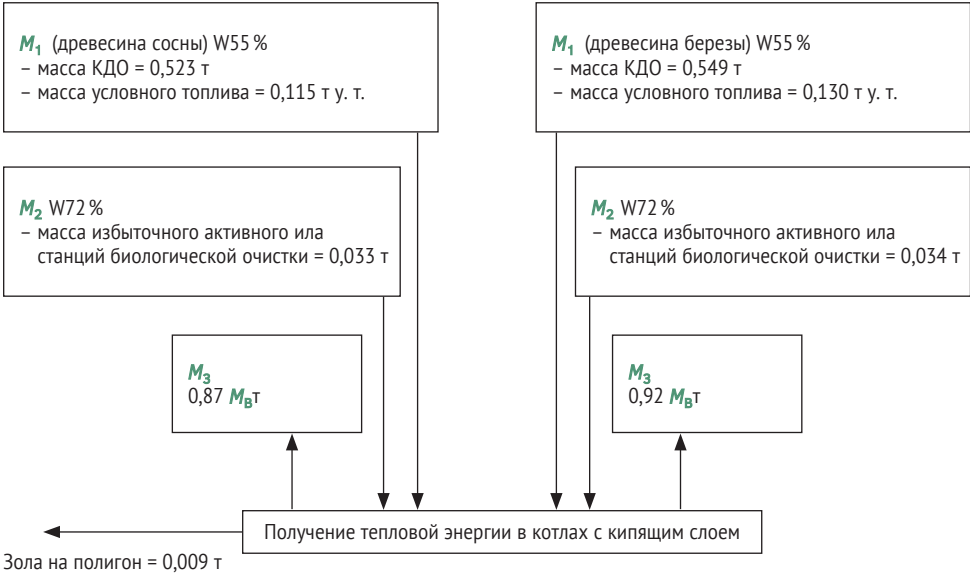


Рис. 38. Материальный баланс производства тепловой энергии из кородревесных отходов в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы

Для примера приведем по аналогии¹⁰⁹ тепловой и эксергетический баланс работы котлоагрегата по выработке пара $p = 10$ МПа, с перегревом пара до $t_{пп} = 150^\circ\text{C}$, топливо — КДО $Q_H^p = 6$ МВт/т. Расход топлива $B = 30,65$ т/ч, температура уходящих газов $\theta_{yt} = 150^\circ\text{C}$, температура холодного воздуха $t_{хв} = 20^\circ\text{C}$.

¹⁰⁹ Климов Г. М. Материальный и тепловой балансы котельной установки. — Нижний Новгород, 2010. — С. 40–52.

При определении прихода эксергии с топливом в этом случае эксергия КДО принята $e \approx Q_H^p$ МВт/т. Тогда эксергия топлива составит $E_{\text{топ}} = E_{\text{зат}} = e \cdot B = 6 \cdot 30,65 = 183,9 \text{ ГДж} \cdot 1,163 \text{ МВтч} / 4,1868 = 51,1 \text{ МВт}$.

Таблица 65. Тепловой и эксергетический балансы котлоагрегата для выработки пара из кородревесных отходов в расчете на 63 т воздушно-сухой целлюлозы из древесины сосны¹¹⁰

Статья баланса	Теплота		Эксергия	
	МВт	%	МВт	%
Приход, топливо				
ИТОГО	51,1	100	51,1	100
Расход				
Передано пара	46,4	90,9	23,5	46,1
Потери с уходящими газами	3,7	7,2	0,7	1,3
Потери от химической неполноты сгорания	0,7	1,4	0,8	1,5
Потери от наружного охлаждения	0,3	0,5	0,2	0,3
Потери от необратимости горения	–	–	12,4	24,2
Потери при теплообмене	–	–	12,5	24,5
Потери с переносом воздуха	–	–	1,1	2,1
ИТОГО	51,1	100	51,1	100

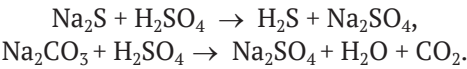
Эксергетический КПД котлоагрегата, как показано в таблице 64, составляет 46,1 %, он является отношением полезно используемой эксергии (эксергия пара) и затраченной (эксергия топлива). Такой относительно низкий эксергетический КПД связан со значительными потерями, возникающими в процессе передачи теплоты от топлива, что значительно ниже коэффициента использования теплоты топлива (90,9 %) по тепловому балансу котла.

При данном качестве топлива эксергетический анализ показывает, что повышению эксергетического КПД котла будет способствовать снижение потерь эксергии при горении за счет подогрева поступающего воздуха и повышения параметров вырабатываемого пара, что уменьшит потери от необратимости теплообмена.

¹¹⁰Климов Г. М. Материальный и тепловой балансы котельной установки. — С. 42.

**Производство сырого таллового масла из сульфатного мыла
(см. рис. 16, п. 1.16)**

При разложении сульфатного мыла реагируют не только соли жирных и смоляных кислот, но и компоненты черного щелока, увлеченного мылом: соли других органических кислот, едкий натр, сернистый натрий и др., поэтому реакция протекает с образованием сероводорода (H₂S) и двуокиси углерода (CO₂) по реакции:



Образующиеся парогазы направляют для очистки в скруббер, который орошают 10-процентным раствором NaOH. В результате сероводород преобразуется в сульфид натрия:



После этого очищенные парогазы могут быть выброшены в атмосферу.

Таблица 66. Описание технологического процесса производства сырого таллового масла (СТМ) и лиственного таллового масла (ЛТМ)

Входной поток		Сульфатное мыло, серная кислота, пар среднего давления
Стадия технологического процесса		Получение сырого таллового масла
Вид технологического процесса		Разложение сульфатного мыла серной кислотой
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Обработка сульфатного мыла серной кислотой переводит натриевые соли смоляных и жирных кислот в кислотную форму. СТМ и ЛТМ имеют плотность менее 1 г/см ³ , что обеспечивает их надежное отделение от кислой воды
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Сырое талловое масло хвойное и лиственное; кислая вода, шлам
	Эмиссии	Выбросы парогазов
Оборудование		Баки-отстойники, гомогенизаторы, гидродинамический сепаратор или центрифуги, баки-отстойники товарного СТМ и ЛТМ

Вязкость сульфатного мыла при низких температурах достаточно высокая — до 300 Па·с при 20°С, что при смешении не обеспечивает необходимого контакта мыла и кислоты. Поэтому процесс проводится при повышенной температуре — около 100°С, при которой вязкость сульфатного мыла снижается в 6–35 раз, до 8–50 Па·с, что обеспечивает его хорошее перемешивание с серной кислотой при образовании реакционной смеси. В результате отстаивания реакционной смеси в непрерывном гидродинамическом сепараторе

образуются три слоя: верхний — талловое масло, средний — лигниновый слой, нижний — кислый раствор бисульфата натрия. Далее сырое талловое масло отбирают и дополнительно отстаивают, чтобы убрать из сырого таллового масла излишнее содержание влаги.

В таблице 67 представлены показатели качества сульфатного мыла, снятого с черных щелоков от варки древесины хвойных и лиственных пород, поступающего на производство хвойного сырого таллового масла и лиственного таллового масла.

Таблица 67. Характеристика хвойного и лиственного сульфатного мыла, химикатов, вспомогательных материалов

Наименование сырья, материалов, ГОСТ, ОСТ или ТУ	Показатели по ГОСТ, ОСТ, ТУ или регламенту	Показатели, обязательные для проверки перед использованием в производстве
Сырое сульфатное мыло, марка С	Массовая доля суммы смоляных и жирных кислот и неомыляемых веществ, %, не менее 45	Сумма жирных и смоляных кислот и неомыляемых веществ
	Массовая доля общей щелочи в перерасчете на NaOH, %, не более 9	Содержание общей щелочи
	Массовая доля воды, %, не более 35	Содержание влаги
Сырое сульфатное мыло, марка Л	Массовая доля суммы смоляных и жирных кислот и неомыляемых веществ, %, не менее 40	Сумма жирных и смоляных кислот и неомыляемых веществ
	Массовая доля общей щелочи в перерасчете на NaOH, %, не более 9	Содержание общей щелочи
	Массовая доля воды, %, не более 50	Содержание влаги
Серная кислота ГОСТ 2184–77	Плотность 20-процентной кислоты 1,83–1,84 г/см ³	Плотность
Крепкий белый щелок	Общая щелочность, г/л ед. Na ₂ O 110–130	Активная щелочь
	Активная щелочность, г/л ед. Na ₂ O, не менее 95	
	Содержание соды, г/л, не более 18	
	Взвешенные вещества, мг/л, не более 100	
Гидроксид натрия	Концентрация 20 %	Концентрация NaOH
Фильтрованная вода	Давление, МПа, не менее 0,15	
Пар	Давление, МПа 0,5	
	Температура, °C 154–170	

Таблица 68. Материальный баланс получения СТМ из 1 т хвойного сульфатного мыла

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Промывка мыла		Мыло после промывки	
Мыло сульфатное хвойное, в т. ч.:	2,0	Мыло сульфатное хвойное, в т. ч.:	2,0
– вода	0,708	– вода	0,9516
– сумма СЖН	0,9174	– сумма СЖН	0,9174
– общая щелочь	0,15	– общая щелочь	0,015
– лигнин	0,0116	– лигнин	0,016
– прочие компоненты сухих веществ	0,213	– прочие компоненты сухих веществ	0,100
Нейтрализованная кислая вода на промывку мыла	0,6	Промывная вода на выпарную станцию	0,6
ИТОГО на промывку	2,6	ИТОГО после промывки	2,6
Разложение сульфатного мыла		Сырое талловое масло, в т. ч.:	
Мыло сульфатное хвойное, в т. ч.:	2,0	– вода	0,022
– вода	0,9516	– сумма	0,9174
– сумма СЖН	0,9174	– лигнин	0,008
– общая щелочь	0,015	– прочие компоненты сухих веществ	0,0526
– лигнин	0,016	Кислая вода, в т. ч.:	1,160
– прочие компоненты сухих веществ	0,100	– вода	
Серная кислота	0,170	– шлам (минеральные соли серной кислоты)	0,160
		Потери серы с парогазовыми выбросами на скруббер для локальной очистки	0,010
ИТОГО реакционная смесь, поступающая в гидродинами- ческий сепаратор	2,170	ИТОГО после разложения сульфатного мыла	2,170

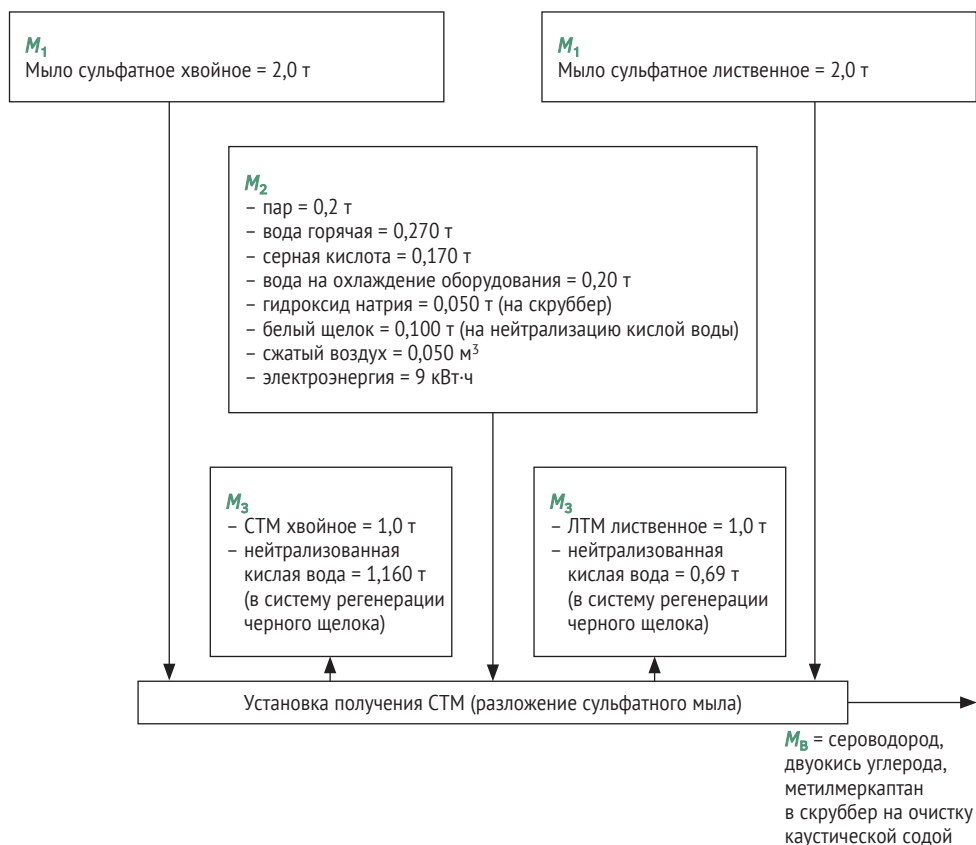


Рис. 39. Материальный баланс производства сырого таллового масла в расчете на 1 т СТМ и 1 т ЛТМ

Биологическая очистка сточных вод (см. рис. 16, п. 1.18)¹¹¹

Сточные воды ЦБП содержат значительные количества взвешенных, коллоидных и растворенных веществ — как органических, так и неорганических. Взвешенные вещества представлены частицами коры, волокном и каолином, которые попадают в сточные воды из древесно-подготовительного, варочного, промывного и бумажно-картонного цехов. Растворенные и коллоидные вещества поступают в сточные воды главным образом с разбавленными щелоками от утечек и переливов варочных и промывных цехов и от ступеней отбелки целлюлозы. В общем случае, чем выше выход целлюлозы по варке, степень извлечения и регенерации отработанных щелоков, чем полнее замкнута схема водопользования, а также выше технологическая культура производства, тем меньше этих загрязнений поступает в сточные воды.

¹¹¹ Николаев А. Н. Основы биологической очистки промстоков ЦБП. — Л., 1984.

Порядок очистки стоков: механическая очистка, усреднение стоков в усреднителе, биологическая очистка в аэротенках, подготовка и обезвоживание осадко-иловой смеси, обезвоживание осадка и избыточного активного ила.

Таблица 69. Описание технологического процесса очистки сточных вод¹¹²

Входной поток		Сточные воды производства
Стадия технологического процесса		Внеплощадочная очистка сточных вод
Вид технологического процесса		Биологическая очистка сточных вод
Метод воздействия на материальный ресурс/предмет труда		Биоокисление органических веществ
Технологический цикл		Производство целлюлозы и бумаги
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Очищенные сточные воды
	Эмиссии	Выбросы водяного пара и летучих органических веществ
Оборудование		Усреднители, аэротенки, воздухоудвки, диспергаторы воздуха, системы обезвоживания избыточного активного ила

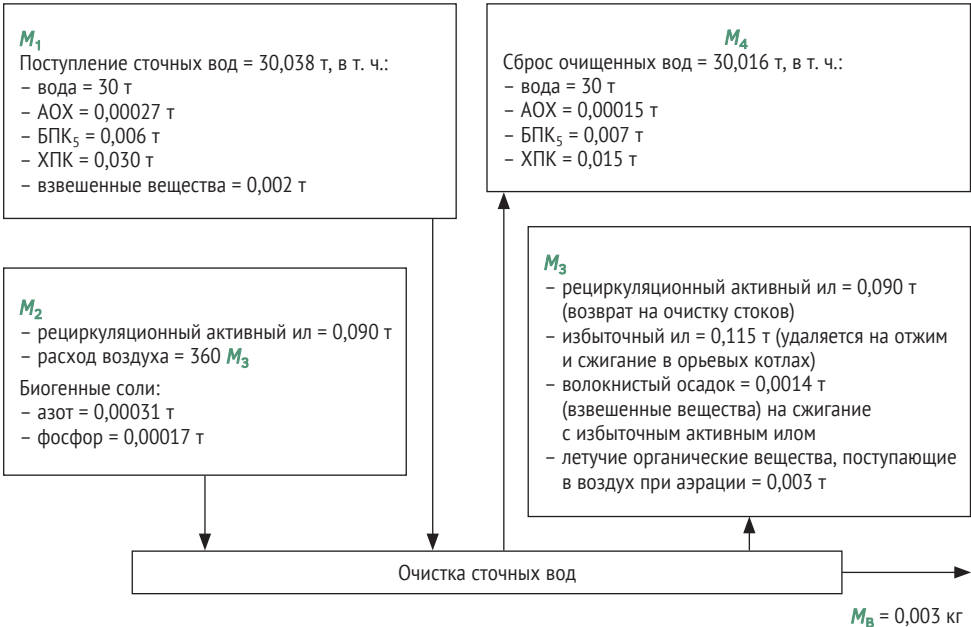


Рис. 40. Материальный баланс очистки сточных вод в системе биологической очистки в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, отбеленной по технологии ECF

¹¹² Там же.

В практике биологической очистки основными показателями загрязненности промстоков являются такие интегральные параметры, как АОХ, БПК₅, ХПК и концентрация взвешенных веществ. На сульфатцеллюлозном производстве 80% органических загрязнений поступает из отбелного цеха, поэтому состав и содержание загрязняющих веществ в основном зависят от технологии отбелики целлюлозы — с молекулярным хлором или по технологии ECF (бесхлорная отбелка). В XXI в. применяется только технология отбелики ECF, поэтому в сточных водах, поступающих на внеплощадочные очистные сооружения, в среднем содержится: АОХ — 0,009 кг/м³, БПК₅ — 0,2 кг/м³, ХПК — около 1 кг/м³ и взвешенных веществ — 0,1 кг/м³. Если у предприятия на 1 т беленой целлюлозы расход свежей воды составляет 30 м³, соответственно, это количество принимается равным объему сточных вод, поступающих на очистные сооружения. В этом случае удельное количество загрязнений, поступающих на очистку, составит по показателю АОХ — 0,27 кг/т, БПК₅ — 6 кг/т, ХПК — 30 кг/т и взвешенных веществ — 3 кг/т.

Таблица 70. Материальный баланс очистки сточных вод в системе биологической очистки в расчете на 1 т воздушно-сухой целлюлозы, отбеленной по технологии ECF

Приход		Расход	
Статья баланса	Масса, т	Статья баланса	Масса, т
Вода	30,0	Вода	30,0
Загрязнения по интегральным показателям:		Загрязнения по интегральным показателям:	
– адсорбированные органические галогены (АОХ)	0,00027	– адсорбированные органические галогены (АОХ)	0,00015
– БПК ₅	0,006	– БПК ₅	0,0007
– ХПК	0,030	– ХПК	0,015
– взвешенные вещества	0,002	– взвешенные вещества	0,0006
ИТОГО поступает на очистку	30,038	ИТОГО сброс очищенных вод	30,016
Рециркуляционный активный ил (3 г/л)	0,090	Всего активного ила, в т. ч.:	0,1125
Биогенные соли:	0,0003 0,0002	– рециркуляционный ил (возврат на очистку стоков)	0,090
		– избыточный ил (удаляется на отжим и сжигание в корьевых котлах)	0,0216
		– волокнистый осадок (взвешенные вещества) на сжигание с избыточным активным илом	0,0014
		– потери летучих органических веществ с воздухом при аэрации	0,000003*
ИТОГО масса на очистных сооружениях	30,1285	ИТОГО масса после очистки	30,1285

* В расчете не учитывается в связи с незначительным значением.

В работе А. Н. Николаева¹¹³ подробно рассматривается материально-энергетический баланс биологической очистки стоков как изменение ХПК сточной воды, пропорциональное изменению свободной энергии органических веществ, которая увязывается с приростом массы абсолютно сухого вещества активного ила.

***Очистка загрязненных конденсатов (см. рис. 16, п. 1.11)
и сжигание дурнопахнущих высококонцентрированных
и низкоконцентрированных газов (см. рис. 16, п. 1.19; рис. 41–43)***

В процессе варки целлюлозы и при работе выпарной станции образуется около 10 м³ загрязненных конденсатов на 1 т в.с.ц. В 1 м³ конденсата загрязнения по ХПК составляют порядка 15 кг, из них метанола ~ 7,5 кг, этанола ~ 1 кг, органические серосодержащие соединения ~ 1,5 кг (в пересчете на суммарную восстановленную серу), скипидара ~ 1,5 кг и неорганические азотистые соединения ~ 0,3 кг. После отгонки паром в стриппинг-колонне загрязненность конденсатов по ХПК ~ 1,5 кг, и около 8 м³ конденсатов пригодны для повторного использования на промывку сваренной целлюлозы, что позволит сэкономить такое же количество свежей воды. Кроме того, повторное использование конденсатов снижает объем поступления сточных вод и количество загрязнений по ХПК на биологическую очистку стоков, что сокращает затраты на их очистку.

Отдувка паром грязных конденсатов также сокращает выбросы суммарной восстановленной серы в атмосферу, а образующиеся в стриппинг-колонне ВК ДПП (метанол, этанол, скипидар, серосодержащие соединения) могут проходить термическое окисление для утилизации в специальных котлах или в извещерегенерационных печах в качестве топлива, что заменяет ~ 10% мазута.

На рисунке 41 представлена общая схема образования, сбора и обезвреживания вредных газовых выбросов на площадке сульфатцеллюлозного завода.

На рисунке 42 указаны конкретные источники образования высококонцентрированных дурнопахнущих газов, которыми являются технологические линии сбора скипидара из терпентинных сдувок (периодическая варка) и линии конденсации парогазов от котлов периодической и непрерывной варки, из баков грязного конденсата. На рисунке также указана система сбора ВК ДПП и примеры их сжигания, предлагаемые фирмой Metso.

На рисунке 43 представлены конкретные источники образования низкоконцентрированных дурнопахнущих газов, которыми являются оборудование для промывки и сортирования сваренной (бурой) целлюлозы, а также баковое хозяйство промывного отдела и отдела сортирования. Кроме того, источником НК ДПП в выпарном цехе являются баки для черного щелока, в ЦКРИ — баки для белого щелока. На рисунке также указана система сбора НК ДПП и пример их сжигания в СРК с третичным воздухом, предлагаемый фирмой Metso.

¹¹³ Николаев А. Н. Основы биологической очистки промстоков ЦБП.

Таблица 71. Описание технологического процесса очистки загрязненных конденсатов

Входной поток		Загрязненные конденсаты выпарной станции
Стадия технологического процесса		Отпарка метанола
Вид технологического процесса		Очистка загрязненных конденсатов для их использования в технологии
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Выпарка метанола паром из конденсатов через теплопроводящую перегородку
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Очищенный конденсат на промывку целлюлозы, 90 % метанол взамен ископаемого топлива в ИРП или на термическое обезвреживание
	Эмиссии	Выбросы парогазов и сброс утечек и переливов
Оборудование		Бак грязного конденсата, отпарная колонна (стриппингколонна)

Таблица 72. Описание технологического процесса раздельного сбора и сжигания дурнопахнущих газов от выпарной станции и других точек технологического потока

Входной поток		Загрязненные парогазы от выпарки, баков щелоков и т. д.
Стадия технологического процесса		Раздельный сбор и отдельное сжигание (ВК) и (НК) ДПГ
Вид технологического процесса		Сбор и сжигание ДПГ
Метод воздействия на материальный ресурс/ предмет труда		Термическое воздействие
Технологический цикл		Регенерация химикатов
Выходной поток	Основные, побочные и промежуточные продукты	Очищенные сточные воды
	Эмиссии	Воздух, не содержащий ДПГ, выбрасывается в атмосферу
Оборудование		Системы сбора ВК ДПГ и НК ДПГ и их сжигания в ИРП, СРК

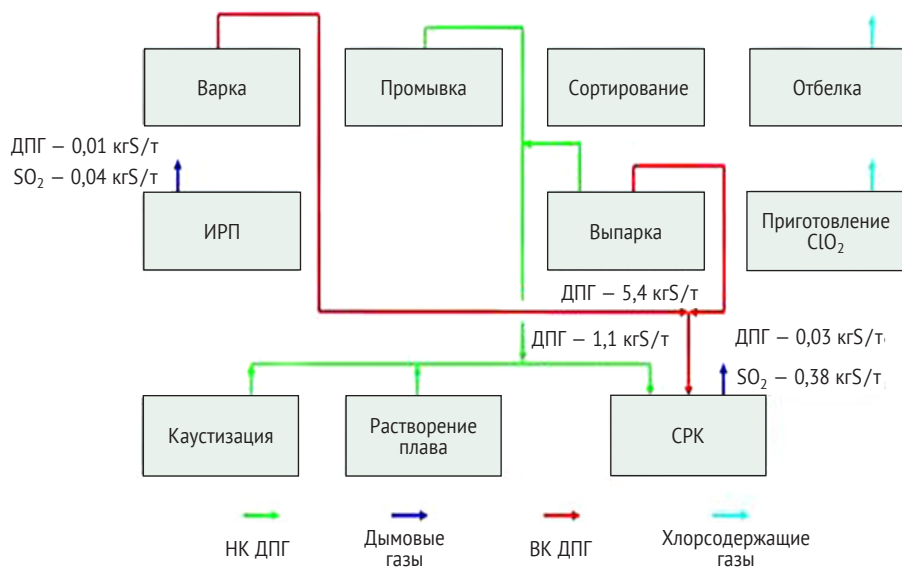


Рис. 41. Схема образования, сбора и обезвреживания вредных газовых выбросов на площадке сульфатцеллюлозного завода

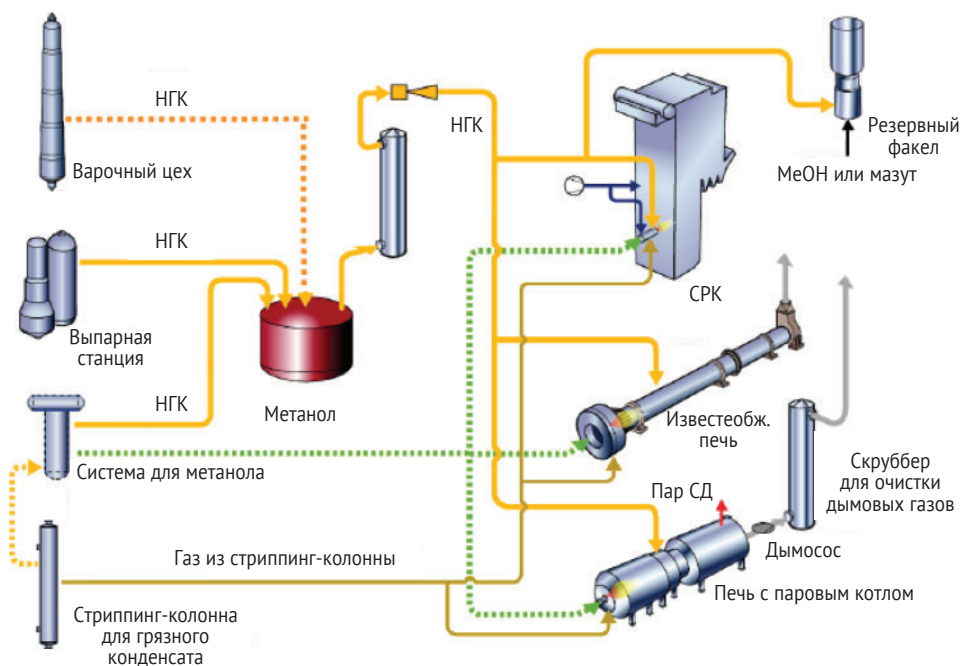


Рис. 42. Источники образования, система сбора высококонцентрированных дурнопахнущих газов и примеры их сжигания в СРК, ИРП, энергетическом котле по предложению фирмы Metso

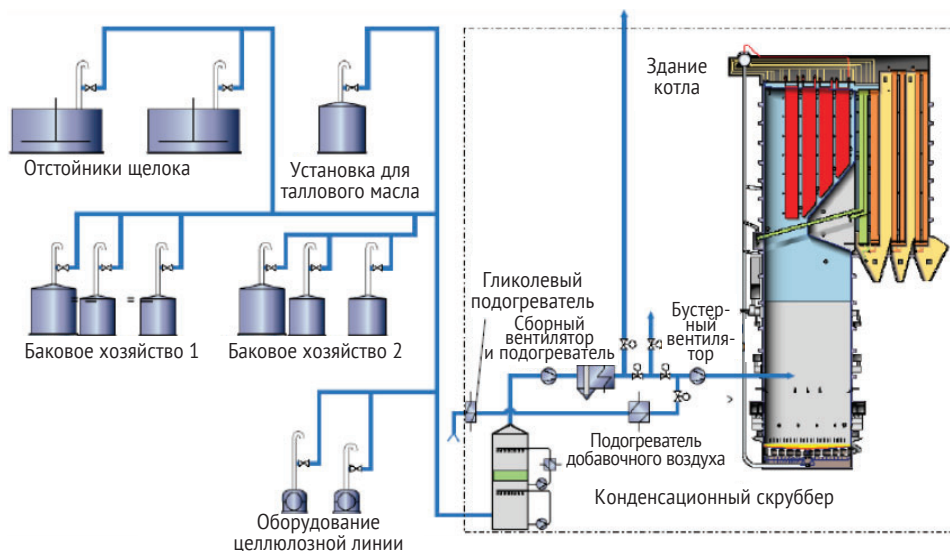


Рис. 43. Источники образования, система сбора НК ДПГ и пример их сжигания в ЦРК с третичным воздухом по предложению фирмы Metso

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

В соответствии с циклами развития отрасли приведено сравнение используемых в прошедших циклах технологий с применяемыми в XX–XXI вв.

Сравнительный анализ составлен по ключевым (маркерным) показателям отрасли (ресурсоэффективность, факторы воздействия на окружающую среду), которые включают эффективность использования древесного сырья, энергоресурсов (вода, электрическая энергия, пар) и снижение сбросов загрязняющих веществ по показателю ХПК.

В целлюлозно-бумажном производстве используется как тепловая, так и электрическая энергия. Производимая тепловая энергия, как правило, в виде пара высокого давления, используется в турбогенераторах для выработки электроэнергии. Затем пар среднего или низкого давления, выходящий из турбины, применяют для нагрева свежей воды и удаления наледи с бревен, поступающих на окорку в зимнее время, для нагрева древесной щепы, целлюлозных волокон, воздуха и химических реагентов до требуемой рабочей температуры, в том числе для нагревания варочного щелока в процессе варки целлюлозы; для выпаривания воды из отработанных щелоков на выпарной станции перед сжиганием щелока в энерготехнологическом котле (ЦРК); для диспергирования загрязнений в макулатурной массе при термомеханической обработке вторичных волокон в диспергаторах; для испарения воды из полотна целлюлозы в сушильной части пресспата или полотна бумаги в сушильной части БДМ; для сушки мелованной бумаги.

Как показала практика, повышение энергоэффективности производства достигается внедрением современных энергосберегающих технологий, которые оправдывают инвестиционные затраты за счет повышения конкурентоспособности предприятия, и это является определяющим фактором для реализации энергосбережения в производстве. Можно отметить и более широкое использование бумаги и картона из макулатурных волокон с последующей переработкой этих продуктов, что также способствует дальнейшему снижению уровня энергопотребления в ЦБП.

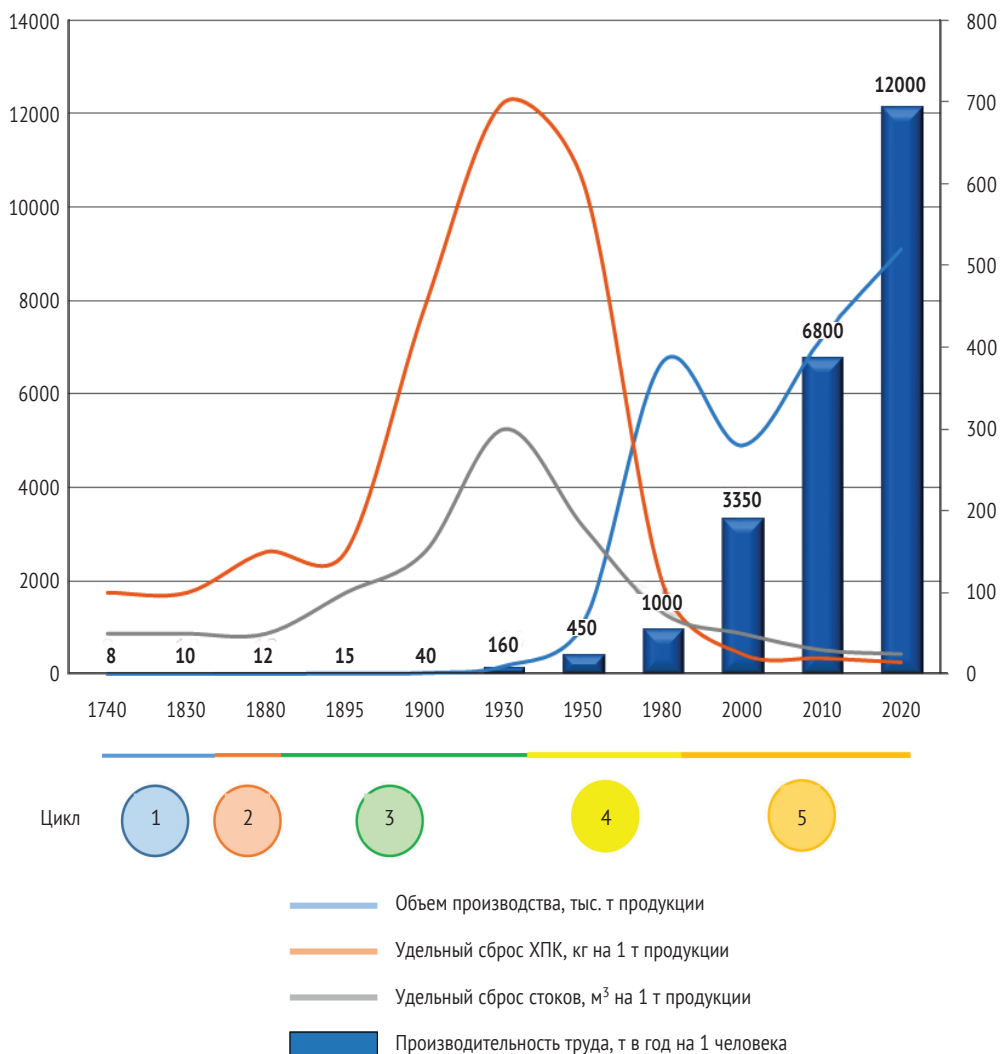


Рис. 44. Сравнение технологий по ключевым показателям в технологических циклах производства

Если в 2004 г., согласно статистике МЭА, в целлюлозно-бумажной промышленности развитых стран использование биомассы (черный щелок, кородревесные отходы) составило приблизительно 35 % всей энергии ЦБП, то в 2019 г. доля биоэнергии на отдельных предприятиях уже достигла 45 %. Такое значительное использование в отрасли «зеленой» энергии из биотоплива означает, что потенциал дальнейшего сокращения выбросов углекислого газа в целлюлозно-бумажной промышленности уже ограничен до перехода на водородное топливо.

Сравнение технологий в каждом технологическом цикле по ключевым показателям (объем производства, производительность труда, удельный объем стоков и сброс ХПК) приведено на рисунке 44.

Сравнение технологий производства беленой целлюлозы в 1970-х, 1990-х и 2010-х гг. по ключевым показателям материальной и энергоэффективности производства (потери древесины при подготовке щепы, %; потери целлюлозы при отбелке, %; расход свежей воды, м³/т; расход пара, Гкал/т; расход электроэнергии, кВт·ч/т; сброс АОХ, кг/т) приведено на рисунке 45.

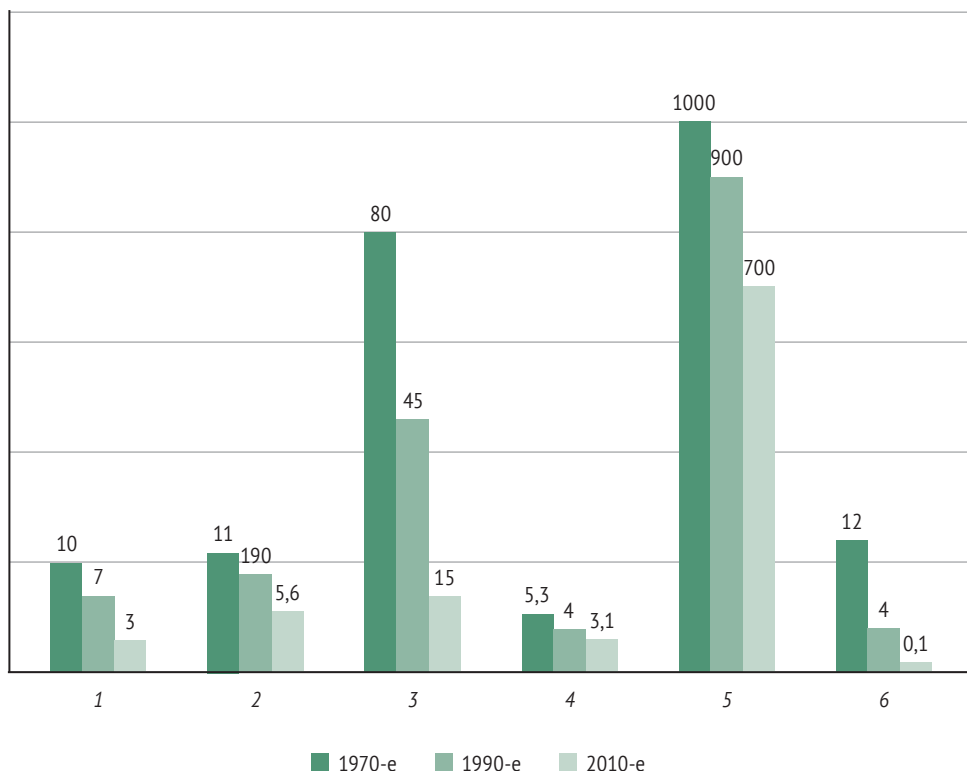


Рис. 45. Сравнение технологий по ключевым показателям:

- 1 — потери древесины при подготовке щепы, %; 2 — потери целлюлозы при отбелке, %;
3 — расход воды, м³/т; 4 — расход пара, Гкал/т; 5 — расход электроэнергии, кВт·ч/т;
6 — сброс АОХ, кг/т

Таблица 72. Сравнение технологий производства беленой целлюлозы из хвойной и лиственной древесины в 2010-х, 1990-х и 1970-х гг.*

Приход				Расход			
Статья баланса	Масса, т а.с.д.	Энергия, Гдж	Эксергия, Гдж	Статья баланса	Масса, т а.с.ц.	Энергия, Гдж	Эксергия, Гдж
Производство сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины							
2010-е							
Древесное сырье	1,94	15,9	15,9	Беленая целлюлоза	1	15,9	11,1
1990-е							
Древесное сырье	2,01	20,2	20,2	Беленая целлюлоза	1	20,2	13,1
1970-е							
Древесное сырье	2,09	25,7	25,7	Беленая целлюлоза	1	25,7	15,4
Производство сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины							
2010-е							
Древесное сырье	1,67	13,2	13,2	Беленая целлюлоза	1	13,2	9,2
1990-е							
Древесное сырье	1,71	18,0	18,0	Беленая целлюлоза	1	18,0	11,7

* В 1970-х гг. беленая сульфатная лиственная целлюлоза не производилась.

ОТХОДЫ И ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

В данном разделе в таблице 74 приведено описание образующихся отходов и вторичных ресурсов, а также технологии их переработки и основные направления использования.

Таблица 74. Вид технологических отходов, сбросов и выбросов загрязняющих веществ от производства сульфатной беленой целлюлозы

Наименование отходов	Место образования отходов	Класс опасности отходов	Физико-химическая характеристика отходов	Периодичность образования отходов	Количество отходов	Использование отходов	Способ удаления отходов
Утилизация отходов производства хвойной целлюлозы, сбросов и выбросов загрязняющих веществ							
Древесные отходы	Производство щепы	4	Древесные отходы (влажность 45 %)	Постоянно	0,4 т/т в.с.ц	Сжигание в энергетических котлах	По транспортеру
Черный щелок	Варочная установка	4	Водный раствор органических и минеральных веществ (влажность 85 %)	Постоянно	10 т/т в.с.ц	Отделение из щелока сульфатного мыла. Обезмыленный щелок выпаривают и сжигают в СРК (влажность 20 %)	По трубопроводу
Сучки и непровар	Установка сортирования	4	Древесные отходы (влажность 75 %)	Постоянно	0,04 т/т в.с.ц.	Повторная варка	По трубопроводу
Отходы сортирования	Установка сортирования	4	Древесные отходы (влажность 70 %)	Постоянно	0,01 т/т в.с.ц	Сжигание в корьевых котлах	Автотранспортом на склад КДО
Терпентинный конденсат	Варочная установка	4	Водный раствор (скипидар, метанол, СВС)	Постоянно	0,3 м³/т в.с.ц.	Отделение скипидарсырца из конденсата на ЛХП	По трубопроводу
Грязный конденсат	Варочная установка	4	Водный раствор (СВ, ММ, ДМДС, скипидар, метанол)	Постоянно	0,04 м³/т в.с.ц.	Очистка на стриппинг колонне совместно с конденсатами выпарки	По трубопроводу
Стоки отбелки	Отбельная установка	3	Водный раствор (t – 55°С, ХОС – 0,1 кг/т, ХПК – 27 кг/т, БПК ₅ – 9 кг/т, взвешенные вещества – 40 мг/л)	Постоянно	35 м³/т в.с.ц	Очистка на сооружениях биологической очистки стоков	По трубопроводу

Парогазовые выбросы от кислотных и щелочных ступеней	Отбельная установка	2	Парогазовая смесь содержит остатки отбеливающих реагентов (диоксид хлора — кислотная ступень, щелочь — щелочная ступень)	Постоянно	100 нм ³ /т в.с.ц	Очистка в скруббере сернистой кислотой и каустической содой	По трубопроводу
НК ДПГ	Варочная установка, установки промывки и сортирования. Баки щелоков, установка СТМ	2	Парогазовая смесь (СВ, ММ, ДМС, скипидар, метанол)	Постоянно	200 нм ³ /т в.с.ц	Сжигание в СРК	По трубопроводу
Известковый шлам белого щелока	Каустизаторы	3	Водная суспензия (влажность 75 %)	Постоянно	0,5 т сухого шлама/т в.с.ц	Регенерация извести 30 % влажности в ИРП	По трубопроводу
ВК ДПГ	Варочная установка, выпарная станция, стриппинг колонна для грязного конденсата	2	Парогазовая смесь (СВ, ММ, ДМС, ДМДС, скипидар, метанол)	Постоянно	3 нм ³ /т в.с.ц	Сжигание в СРК	По трубопроводу
Неперерабатываемые отходы на захоронение							
Тяжелые неорганические отходы	ДПЦ, варочная установка, установки промывки и сортирования, энергетический котел	4	Камни, песок, металлические включения, зола	Постоянно	0,01 т/т в.с.ц	Складирование	Автотранспортом на свалку
Черный шлам зеленого щелока	Каустизаторы	3	Содержание влаги 20 %	Постоянно	0,005 т сухого шлама/т в.с.ц	Складирование	Автотранспортом на свалку

Таблица 75. Сведения о химических веществах процесса производства сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
1	Целлюлоза	Основной процесс	Процесс производства сульфатной и сульфитной целлюлозы/варочная, отбельная, сушильная установка	Сырье для производства бумаги и химической переработки	9004-34-6	Твердое	$[C_6H_{10}O_5]_n$	
2	Натрия гидроксид	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная, отбельная установка	В составе белого и черного варочного щелока	1310-73-2	Твердое	NaOH	
3	Натрия сульфид	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе белого и черного варочного щелока	1313-82-2	Твердое	Na ₂ S	

Сведения о веществе					
Гигиенические нормативы ^{а)}				Краткое описание опасности и основные характеристики ^{б)}	
В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений			
ПДК _з мг/м ³	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Класс опасности		
10	4	0,5 (ОБУВ)	–	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе: Т _{всп.} = 260°С; Т _{св.} = 407°С (аэрозвесь). Концентрационные пределы распространения пламени от 8 до 45 г/м ³ . <i>Воздействие на организм человека</i> Не оказывает негативного воздействия ^{с)} . <i>Воздействие на окружающую среду</i> Не оказывает негативного воздействия ^{с)} .	
0,5	2	0,01 (ОБУВ)	–	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Вызывает коррозию металлов (водный раствор). <i>Воздействие на организм человека</i> Вредно при проглатывании и попадании на кожу: LD ₅₀ = 325 мг/кг (в/ж, крысы); LD ₅₀ = 1350 мг/кг (н/к, кролики). Вызывает химические ожоги кожи, глаз и внутренних органов при случайном проглатывании. Смертельная доза для человека при проглатывании 4,95 мг/кг. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Вредно для водных организмов: LC ₅₀ = 45,4 мг/л (рыбы, 96 ч).	
0,2	2	0,01 (ОБУВ)	–	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе: Т св. = 430–480°С. <i>Воздействие на организм человека</i> Токсично при проглатывании и попадании на кожу: LD ₅₀ = 100 – 215 мг/кг (в/ж, крысы); LC ₅₀ < 340 мг/кг (н/к, кролики). Вызывает химические ожоги кожи и глаз. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Чрезвычайно токсично для водных организмов: LC ₅₀ = 0,003 мг/л (рыбы, 96 ч). Вызывает изменение органолептических свойств воды (сульфиды).	

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
4	Натрия карбонат	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе белого и черного варочного щелока	497-19-8	Твердое	Na_2CO_3	
5	Натрия сульфат	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе белого и черного варочного щелока	7757-82-6	Твердое	Na_2SO_4	
6	Щелочной лигнин	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе черного варочного щелока	8068-05-1	Твердое	–	

Таблица 75 (продолжение)

Сведения о веществе					
Гигиенические нормативы ^{a)}				Краткое описание опасности и основные характеристики ^{b)}	
В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений			
ПДК, мг/м ³	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Класс опасности		
2	3	0,015/0,05/–	3	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Не опасен. <i>Воздействие на организм человека</i> Вредно при вдыхании, может причинить вред при проглатывании и попадании на кожу: LC ₅₀ = 2300 мг/м ³ (инг., крысы, 2 ч); LD ₅₀ = 2800 мг/кг (в/ж, крысы); LD ₅₀ > 2000 мг/кг (в/ж, кролики). Вызывает раздражение кожи и глаз. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Не оказывает негативного воздействия ^{c)} .	
10	4	0,3/0,1/–	3	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Не опасен. <i>Воздействие на организм человека</i> Вызывает раздражение кожи и глаз. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Вызывает изменение органолептических свойств воды (сульфаты).	
6	4	0,03 (ОБУВ по пыли лигнина гидролизного)	–	<i>Вещество сложного переменного состава (UVCB).</i> <i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Не опасен. <i>Воздействие на организм человека</i> Вызывает слабое раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Вызывает изменение органолептических свойств воды.	

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
7	Скипидар	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе черного варочного щелока, конденсата терпентинного, грязных конденсатов, газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных)	8006-64-2	Жидкое	C_nH_{2n+2}	
8	Метанол	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе конденсата терпентинного; газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных	67-56-1	Жидкое	CH_4O	

Таблица 75 (продолжение)

Сведения о веществе				
Гигиенические нормативы ^{а)}				Краткое описание опасности и основные характеристики ^{б)}
В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
ПДК, мг/м ³	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	
600/300	4	2/1/–	4	Вещество сложного переменного состава (UVCB), содержащее летучие фракции (преимущественно терпеновые C₁₀H₁₆), а также другие ациклические, моноциклические или бициклические терпены, оксигенированные терпены и анетол. <i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Воспламеняющаяся жидкость. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси: T_{всп.} > 32° С; T_{кип.} = 154–170° С; T_{св.} = 247° С. Концентрационные пределы распространения пламени от 0,8 до 6,0 об. %. <i>Воздействие на организм человека</i> Вредно при вдыхании (паров) и проглатывании: LC₅₀ = 13700 мг/м³ (инг., крысы, 4 ч); LD₅₀ = 1420–3070 мг/кг (в/ж, крысы). Вызывает раздражение кожи и глаз. При контакте с кожей может вызвать аллергическую реакцию. Токсично при аспирации (может быть смертельным при проглатывании и последующем попадании в дыхательные пути). <i>Воздействие на окружающую среду</i> Токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями: EC₅₀ = 6,4 мг/л (ракообразные, 48 ч); NOELR = 1 мг/л (ракообразные, 48 ч). Вызывает изменение органолептических свойств воды.
15/5	3	1/0,5/0,2	3	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Легковоспламеняющаяся жидкость. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси: T_{всп.} = 6–10° С; T_{кип.} = 64,5° С; T_{в.} = 13° С; T_{св.} = 385–440° С. Температурные пределы распространения пламени от 5 до 44° С. Концентрационные пределы распространения пламени от 6,98 до 35,5 об. %. <i>Воздействие на организм человека</i> Токсично при вдыхании, проглатывании и попадании на кожу (основано на опыте обращения с веществом). Смертельная доза для человека при проглатывании 100 мл. Вызывает раздражение кожи и глаз. Поражает органы (органы зрения, ЦНС, почки) в результате однократного воздействия при всех путях поступления. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Не оказывает негативного воздействия^{в)}.

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
9	Сероводород	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе конденсата терпентинного; газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных	7783-06-4	Газ	H ₂ S	
10	Метантиол (метилмеркаптан)	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе конденсата терпентинного, грязных конденсатов; газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных; эмиссии (выбросы)	74-93-1	Газ	CH ₄ S	
11	Диметилсульфид	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы/варочная установка	В составе конденсата терпентинного, грязных конденсатов; газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных; эмиссии (выбросы)	75-18-3	Жидкое	C ₂ H ₆ S	

Таблица 75 (продолжение)

Сведения о веществе				
Гигиенические нормативы ^{a)}				Краткое описание опасности и основные характеристики ^{b)}
В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
ПДК, мг/м ³	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	
10	2	0,008/–/0,002	2	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Чрезвычайно легковоспламеняющийся газ: образует взрывоопасные смеси с воздухом в концентрации 4,3–45 об. %. <i>Воздействие на организм человека</i> Смертельно при вдыхании: LC ₅₀ = 444 ppm (инг., крысы, 4 ч). Смертельная концентрация для человека 850 мг/м ³ (30 мин). Вызывает сонливость и головокружение (поражает ЦНС при однократном воздействии—наркотический эффект), раздражение верхних дыхательных путей. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Чрезвычайно токсично для водных организмов: LC ₅₀ = 0,019 – 0,035 мг/л (рыбы, 96 ч); NOEC = 0,0004 мг/л (рыбы, 126 дней). Вызывает изменение органолептических свойств воды.
0,8	2	0,006/–/–	4	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Чрезвычайно легковоспламеняющийся газ: образует взрывоопасные смеси с воздухом в концентрации 3,9–21,8 об. %. <i>Воздействие на организм человека</i> Токсично при вдыхании: LC ₅₀ = 675 ppm (инг., крысы, 4 ч). <i>Воздействие на окружающую среду</i> Чрезвычайно токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями: LC ₅₀ = 0,95 мг/л (рыбы, 96 ч); NOEC = 0,81 мг/л (водоросли, 72 ч). Вызывает изменение органолептических свойств воды.
50	4	0,08/–/–	4	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Легковоспламеняющаяся жидкость. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси: T _{всп.} = (–) 20°С; T _{кип.} = 37,3°С; T _{в.} = 17,7°С; T _{св.} = 215°С; Концентрационные пределы распространения пламени от 62,2 до 19,7 об. %. <i>Воздействие на организм человека</i> Вредно при проглатывании: LD ₅₀ = 535 мг/кг (в/ж, крысы). Вызывает раздражение кожи и глаз. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Вредно для водных организмов: LC ₅₀ = 23 мг/л (ракообразные, 48 ч). Вызывает изменение органолептических свойств воды.

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
12	Диметилдисульфид	Основной процесс	Процесс производства сульфатной целлюлозы / варочная установка	В составе конденсата терпентинного, грязных конденсатов; газов низкоконцентрированных, высококонцентрированных; эмиссии (выбросы)	624-92-0	Жидкое	C ₂ H ₆ S ₂	

Примечания

- ^{a)} Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”».
- ^{b)} Основные характеристики согласно справочным материалам и сведениям, представленным в базах данных по химическим веществам:
- База данных ChemADVISOR. — URL: <https://www.chemadvisor.com/Online> (дата обращения: 20.12.2021);
 - База данных Европейского Химического Агентства (ECHA). — URL: <https://echa.europa.eu/> (дата обращения: 20.12.2021);
 - База данных АРИПС «Опасные вещества». — URL: <http://www.rpohv.ru/online/> (дата обращения: 20.12.2021);
 - Гусева Т. В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005.
- ^{c)} Согласно принятым на международном уровне подходам к классификации опасности химических веществ — Рекомендациям ООН «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции» (GHS). — URL: <https://unece.org/ru/ghs-rev7-2017> (дата обращения: 20.12.2021).

Идентификационные данные вещества:

Номер CAS (Chemical Abstracts Service), или CAS Number — уникальный численный идентификатор химического вещества, внесенного в Реестр Химической Реферативной службы (подразделение Американского химического общества).

UVCB (Unknown, of Variable Composition, or of Biological origin) — вещество сложного и переменного состава.

Показатели опасности, обусловленной физико-химическими свойствами вещества:

T_{кип.} — температура (точка) кипения — температура, при которой давление пара жидкости равно нормальному атмосферному давлению 101,325 кПа.

T_{всп.} — температура вспышки — наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивого горения при этом не возникает. Для оценки опасности используется показатель температуры вспышки, определяемой в закрытом тигле.

T_{св.} — температура самовоспламенения — наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества.

Таблица 75 (окончание)

Сведения о веществе				
Гигиенические нормативы ^{а)}				Краткое описание опасности и основные характеристики ^{б)}
В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
ПДК, мг/м ³	Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	
1,5	3	0,7/-/-	4	<i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i> Легковоспламеняющаяся жидкость. Пары образуют с воздухом взрывоопасные смеси: $T_{всп.} = 16^{\circ}\text{C}$; $T_{кип.} = 109,2^{\circ}\text{C}$; $T_{св.} \geq 300^{\circ}\text{C}$. <i>Воздействие на организм человека</i> Токсично при вдыхании (паров), проглатывании и попадании на кожу: $LC_{50} = 805 \text{ ppm}$ (инг., крысы, 4 ч). $LD_{50} = 190 \text{ мг/кг}$ (в/ж, крысы). Вызывает раздражение кожи и глаз. Может вызвать аллергическую реакцию при контакте с кожей. Вызывает сонливость и головокружение (поражает ЦНС при однократном воздействии—наркотический эффект), поражает верхние дыхательные пути в результате продолжительного воздействия. <i>Воздействие на окружающую среду</i> Чрезвычайно токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями: $LC_{50} = 0,97 \text{ мг/л}$ (рыбы, 96 ч); $NOEC = 0,473 \text{ мг/л}$ (рыбы, 96 ч). Вызывает изменение органолептических свойств воды.

T_b – температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Показатели опасности, обусловленной токсикологическими свойствами вещества:

LC_{50} (Letal Concentration) – средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при 1- или 4-часовом ингаляционном (инг.) воздействии.

LD_{50} (Letal Dose) – средняя смертельная доза – доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном введении в желудок (в/ж) или нанесении на кожу (н/к).

Показатели опасности, обусловленной экотоксикологическими свойствами вещества:

LC_{50} (Letal Concentration) – средняя смертельная концентрация – концентрация вещества в воде, вызывающая гибель 50 % водных организмов (гидробионтов) при установленном времени воздействия (96-часовом для рыб, 48-часовом для ракообразных, 72- или 96-часовом для водорослей) в течение заданного периода наблюдения.

EC_{50} (Effective Concentration) – средняя эффективная концентрация – концентрация вещества в воде, вызывающая негативный эффект (изменение тест-реакции, выраженной в гибели гидробионтов, снижении интенсивности размножения, снижении подвижности или других типичных поведенческих характеристик, а также в подавлении некоторых биохимических процессов, протекающих в клетках и ферментных системах) у водных организмов на 50 % при установленном времени воздействия в течение заданного срока наблюдений.

NOEC (No Observed Effect Concentration), NOEL (No Observed Effect Limit), NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), NOELR (No Observed Effect Loading Rate) – максимально недействующая доза – максимальная концентрация вещества в воде, при которой не происходит гибели водных организмов и/или не наблюдается иного видимого токсического эффекта на гидробионтов в пределах установленного времени воздействия в течение заданного периода наблюдения.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Рождение интернета в 1989 г. и его бурное развитие в последующие годы стали предопределяющими в появлении новой глобальной информационной системы и началом эпохи электронных носителей информации. И если роль бумаги как носителя информации стала постепенно уменьшаться, то общая потребность в бумажно-картонной продукции к 2030 г. будет устойчиво расти в сегментах санитарно-гигиенических бумаг (+19,4 млн т), тары и упаковки (+81 млн т), в производстве целлюлозы для химической переработки. Всего, по данным RISI, ожидается рост производства продукции ЦБП с 440 млн т в 2016 г. до 570 млн т в 2030 г., или на 30%! Такой рост потребления в мире связан с постоянным увеличением населения Земли, и если в 2020 г. оно составило 7,8 млрд человек, то к 2030 г. может достигнуть 8,5 млрд, а к 2050 г. — уже 9,7 млрд. Поэтому, по мнению МЭР, мировая потребность в бумажно-картонной продукции к 2050 г. составит от 700 до 900 млн т за счет существенного роста в Китае, Индии и других развивающихся странах.

В 2017 г. Минпромторг России разработал прогноз развития отечественного ЛПК к 2030 г. Однако в феврале 2021 г. появился документ «Уточненная ревизия Стратегии утверждена Правительством Российской Федерации (№ 312-р)», в соответствии с которым к 2030 г. в России возможно увеличение объемов производства целлюлозно-бумажной промышленности на 8,3 млн т в год (что на 4,1 млн т меньше первоначального плана), в том числе:

- товарной целлюлозы — на 5,7 млн т (меньше на 5,3 млн т);
- санитарно-гигиенических изделий — на 0,4 млн т (меньше на 0,2 млн т);
- упаковочной бумаги и картона — на 0,26 млн т (меньше на 0,34 млн т);
- писчепечатной бумаги — на 0,45 млн т (больше на 0,25 млн т).

Экспорт целлюлозы вырастет на 10,7 млн т (больше на 0,1 млн т).

Реализация планов по развитию целлюлозно-бумажной промышленности позволит увеличить налоговые поступления на 25,4 млрд руб. к 2030 г. (меньше на 1,6 млрд руб.) и создать около 27 тыс. новых рабочих мест (больше на 22 тыс.)¹¹⁴.

Безусловно, тенденция к падению мирового спроса на писчие и печатные сорта бумаг, наблюдаемая с начала XXI в., влияет на объем производства отдельных волокнистых полуфабрикатов в мире, используемых в производстве этих видов бумаги. В частности, отмечается снижение мирового производства древесной массы, которая используется в композиции бумаг для повышения непрозрачности и улучшения печатных свойства листа. Для примера рассмотрим Финляндию, в которой с начала века объем производства древесной массы сократился к 2019 г. на 1,5 млн т. В то же время производство целлюлозы в этой стране выросло более чем на 1,2 млн т и в 2019 г. составило 8,32 млн т, что на 1,5 млн т больше, чем в ЦБП России (6,80 млн т). Такие разновекторные тенденции в производстве волокнистых полуфабрикатов в Финляндии практически нивелировали потери суммарного объема выпуска целлюлозы и древесной массы в этой стране.

¹¹⁴Распоряжение Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р.

Приведенный пример показывает, что, помимо производства древесной массы, существующие технологии получения целлюлозных полуфабрикатов по сульфатному способу варки древесного сырья и производства полуцеллюлозы комбинированным химико-механическим способом (нейтрально-сульфитная варка или сульфатная варка с последующим горячим размолом) сохраняют свое значение в будущем, обеспечивая рост выпуска требуемой рынком бумажно-картонной продукции ЦБП. Устойчивое положение предприятия на рынке возможно, если оно опирается на конкурентоспособное качество, низкую себестоимость продукции, экологическую безопасность производства, включающую максимально возможное использование «зеленой энергии» и возобновляемую лесосырьевую базу. Совокупность этих рыночных требований может обеспечить только использование наилучших доступных технологий производства (НДТ), которые станут «дорожной картой» совершенствования и развития производственных мощностей в ЦБП.

Одним из важнейших направлений дальнейшего совершенствования мирового производства является повышение его энергоэффективности для максимального сокращения выбросов парниковых газов. В мировой обрабатывающей промышленности целлюлозно-бумажное производство занимает четвертое место по потреблению энергии и является наименее углеродоемким производством, поскольку в среднем на 33 % покрывает свои потребности в энергии за счет использования биомассы дерева¹¹⁵.

По данным Международного энергетического агентства, выбросы диоксида углерода целлюлозно-бумажной промышленностью составляют 183 млн т, или только 2 % от выбросов всего мирового производственного сектора (данные МЭА за 2011 г.). Парниковые газы, такие как диоксид углерода, на производственной площадке целлюлозно-бумажного комбината выбрасываются от сжигания топлива в энергетических котлах, от известерегенерационных печей для обжига извести, а выброс метана происходит от работы очистных сооружений и от полигонов отходов.

Работа передовых современных предприятий отрасли показала возможность замещения в более 40 % потребности в энергии за счет биомассы дерева при приемлемом сроке окупаемости инвестиций (3–5 лет), и достижение этого уровня обеспечения «зеленой энергией» предприятия уже стало международным требованием. В частности, на этих предприятиях для отказа от мазута в качестве растопочного топлива энергетических котлов используют биомасла (например, талловое масло, животный жир, растительное масло), а для замены мазута в известерегенерационной печи применяют скипидар, биомасла и синтез-газ, получаемый газификацией кородревесных отходов. Однако использование лесохимических и сельскохозяйственных продуктов взамен угля и мазута происходит в тех странах, в которых природный газ стоит дорого¹¹⁶.

Очевидно, что первым шагом в сокращении выбросов диоксида углерода является экономия теплоэнергетических затрат на комбинате в целом, а следующая шаг — увеличение использования биомассы для замены ископаемого топлива и в перспективе переход на чистое водородное топливо.

¹¹⁵Environmental management in the pulp and paper industry // Technical Report. — No 34 : United Nations environment programme industry and environment. — Paris, 1996. — P. 26.

¹¹⁶Hart P. W. Alternative «green» lime kiln fuels : Part II : Woody biomass, bio-oils, gasification, and hydrogen // Tappi Journal. — 2020. — Vol. 19, No 5. — P. 271–279.

В государственных докладах, посвященных состоянию энергосбережения и повышению энергетической эффективности в нашей стране¹¹⁷, рекомендуется применять единый подход к системе управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на предприятии в соответствии с международным стандартом ISO 50001:2018 и использовать наилучшие доступные технологии¹¹⁸. В продолжение тенденции снижения использования ископаемого топлива в декабре 2019 г. в ЕС была принята экологическая стратегия о переходе на альтернативные ископаемому топливу источники энергии, которые уже к 2050 г. не будут выбрасывать парниковые газы в атмосферу. 4 ноября 2020 г. Президент РФ В. В. Путин дал поручение Правительству РФ создать стратегию развития с низким уровнем парниковых газов.

Возможно, будущие поколения специалистов не без иронии оценят ныне существующие производства технической целлюлозы, так же как сегодня мы оцениваем производство щелочи за счет сжигания лесов. Нет сомнения, что накопление новой суммы знаний во всех областях науки и техники даст импульс для смены существующей технологической парадигмы. В частности, одним из перспективных источников целлюлозы взамен древесины могут стать цианобактерии, обладающие генетической способностью синтезировать целлюлозу, которые будут «заняты» на производстве целлюлозы и других получаемых из дерева материалов, что сократит объем вырубки лесов.

РОЛЬ ЦБП В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Мировым лидером по производству бумаги и картона исторически выступали США, и еще в начале 2000-х гг. они почти в 3 раза опережали деливших 2-е место Японию и Китай. Однако КНР за десятилетие утроила выпуск продукции и с 2009 г. занимает 1-е место в мире¹¹⁹. Китай выпускает бумаги и картона больше, чем вся Европа или Северная Америка, а США опустились на 2-е место.

В 2019 г. (по данным ФАО) мировая целлюлозно-бумажная промышленность произвела продукции 404,28 млн т, из которых 107,65 млн т, или 26,6 %, было произведено в КНР, в США — 68,16 млн т (16,9 %), Японии — 25,38 млн т (6,3 %), Германии — 22,07 млн т (5,5 %), Индии — 17,28 млн т (4,3 %), Индонезии — 11,95 (3,0 %), Республике Корея — 11,38 (2,8 %), Бразилии — 10,53 (2,6 %), Финляндии — 9,71 (2,4 %), Швеции — 9,62 (2,4 %), Канаде — 9,47 (2,3 %), России — 9,11 (2,3 %), Италии — 8,9 (2,2 %), Франции — 7,32 (1,8 %), Мексике — 5,8 (1,4 %).

Россия обладает огромной лесосырьевой базой, в которой только ежегодный прирост древесины на всей территории составляет 980 млн куб. м. Для сравнения: в 2019 г. объем заготовки составил 141,9 млн куб. м¹²⁰, что составляет 15 %

¹¹⁷ Скобелев Д. О. Энергетический менеджмент: прочтение 2020 : руководство по управлению энергопотреблением для промышленных предприятий. — М., 2020. — С. 5–16.

¹¹⁸ ИТС1–2015: Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона. — М., 2015.

¹¹⁹ Малков С. Обзор мировой ЦБП и текущий статус ЛПК России // Andritz Group. — 2021. — Сентябрь. — URL: <https://paper.narfu.ru/upload/medialibrary/136/Malkov.pdf> (дата обращения: 12.12.2021).

¹²⁰ ЛПК России в 2019 году: итоги производства // Сделано у нас. — URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/130021/> (дата обращения: 12.12.2021).

от ежегодного прироста. По опубликованным расчетам, только из ежегодного прироста биомассы можно заготовить 500 млн куб. м стволовой древесины, из 1/5 которой можно произвести технологической щепы, достаточной для выработки 20 млн т целлюлозы — это количество целлюлозы, которое планируется выработать в 2030 г. по прогнозу Минпромторга России. Несмотря на несметные лесные богатства, рубка леса происходит только на 22 % лесопокрытой территории, там, где имеется транспортная доступность, и это определяет незначительное использование прироста древесины на территории страны, нерациональную рубку и переработку заготовленного леса и в конечном итоге очень скромную долю России в глобальном бизнесе ЦБП, которая в 2019 г. оценивалась на уровне 2,3 %. Целлюлозно-бумажная промышленность страны с 1991 г. застыла в своем развитии и только в 2016 г. по количеству сваренной целлюлозы достигла уровня СССР 1988 г. Для сравнения: 70 лет назад, в тяжелые годы Второй мировой войны и послевоенной разрухи, уровень СССР в мировой ЦБП составлял 0,8–1,5 %! Причины такого положения дел в отрасли и меры, которые необходимо принимать для сохранения лесов и повышения экономической эффективности ЛПК и ЦБП, обсуждаются в работе А. М. Кряжева¹²¹.

Отметим, что в Европе за последние 10 лет при интенсивном развитии целлюлозно-бумажной промышленности площадь лесов даже увеличилась более чем на 44 000 кв. км (по данным ФАО). Поэтому особое значение для интенсификации лесопользования и воспроизводства лесов имеет лесная инфраструктура, и прежде всего плотность лесных дорог, которых сегодня недостаточно. Это приводит к тому, что после заготовки леса порядка 40 % биомассы в виде пней, порубочных отходов, сучьев и древесной зелени не используется как сырье для переработки на предприятиях лесохимии, которые были закрыты еще в 1990-е гг. При этом, по экспертной оценке, суммарный вклад лесохимического производства в сельское хозяйство, парфюмерную, медицинскую, пищевую, теплоэнергетическую, металлургическую, космическую отрасли оценивается не менее 10 млрд долл.

Отсутствие переработки всей биомассы дерева также является причиной низкой экономической эффективности работы ЛПК. Так, в 2016 г. общий объем выручки составил 1,4 трлн руб. (23 млрд долл.), из которых выручка от химической переработки древесины — 1,15 трлн руб. (19,2 млрд долл.), или 84 % от выручки ЛПК. Вклад ЦБП в ВВП страны в 2019 г. составил 1,5 %, а экспорт — 12,27 млрд долл.¹²², в то время как, по оценкам экспертов, он должен достигать 20–30 млрд долл., что уже сопоставимо с поставками нефти, газа и продукции сельского хозяйства.

¹²¹ Кряжев А. М. Наилучшие доступные технологии — основа развития целлюлозно-бумажной промышленности и лесопромышленного комплекса России в XXI веке. — СПб., 2020. — 90 с. — URL: <http://ecoline.ru/bat-basis-for-development-of-pulp-and-paper-industry-and-forestry-of-russia-in-21-century/> (дата обращения: 12.12.2021).

¹²² Обзор «Лесной комплекс России в 2019–2020 годах»: нисходящий ценовой тренд, снижение финансовых показателей, торможение российского ЛПК и появление новых «черных лебедей» // WhatWood : Исследования и аналитика в ЛПК. — 2020. — 20 марта. — URL: <https://whatwood.ru/russian-forest-industry-review-2019-2020/> (дата обращения: 12.12.2021).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аввакумова А. В. Отбелка целлюлозы для химической переработки / А. В. Аввакумова // Технология целлюлозно-бумажного производства : справочные материалы : в 3 т. — Т. 3, ч. 3. — Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 2012. — С. 40–83.
2. Антропова Е. Б. История целлюлозно-бумажной промышленности России / Е. Б. Антропова, А. П. Балаченкова, М. И. Бусыгин. — Архангельск : Правда Севера, 2008. — 231 с.
3. Бегунов Ю. Р. Экономические аспекты производства сульфитной целлюлозы // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее : материалы научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г.). — Санкт-Петербург, 1992. — С. 30.
4. Богданов В. В. Истории обыкновенных вещей / В. В. Богданов, С. Н. Попова. — Москва : Педагогика-пресс, 1992. — С. 14. — URL: <https://www.litmir.me/br/?b=546575&p=14> (дата обращения: 12.12.2021).
5. Богомолов Б. Д. Побочные продукты сульфатно-целлюлозного производства: химия и технология / Б. Д. Богомолов, А. А. Соколова. — Москва : Гослесбумиздат, 1962. — 436 с.
6. Борухович В. Г. В мире античных свитков / В. Г. Борухович. — Саратов : Издательство Саратовского университета, 1976. — 224 с.
7. Буйницкая М. И. Анализ состояния и направления совершенствования производства сульфитной целлюлозы / М. И. Буйницкая // Целлюлоза, бумага и картон : Экспресс-информация. — 1990. — № 23. — С. 4.
8. Верзилин Н. М. По следам Робинзона / Н. М. Верзилин. — Москва ; Ленинград : Издательство и фабрика детской книги Детгиза, 1946. — См.: PlantLife.ru: Жизнь растений. — URL: <http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000016/index.shtml> (дата обращения: 12.12.2021).
9. Гаев Ф. Ф. Использование макулатуры в производстве картоне и бумаги / Ф. Ф. Гаев // Отходы.ру : Отраслевой портал. — 2008. — 13 нояб. — URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=315> (дата обращения: 29.10.2021).
10. Ефремов Ю. Н. Актуальные направления сохранения сульфитного способа производства волокнистых полуфабрикатов в России / Ю. Н. Ефремов // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее : материалы научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г.). — Санкт-Петербург, 1992. — С. 8.
11. Жеребов Л. П. Химическая сторона сульфит-целлюлозного производства / Л. П. Жеребов // Записки Императорского Русского Технического Общества: 1894: Январь. — Санкт-Петербург : Типография братьев Пантелеевых, 1894.
12. Заварицкий Д. А. Производство поташа / Д. А. Заварицкий. — Казань : Императорское Казанское экономическое общество, 1856. — 60 с.
13. Иванов М. А. Смолистые вещества древесины и целлюлозы, их роль в целлюлозно-бумажной промышленности / М. А. Иванов, Н. Л. Косович, С. С. Малевская. — Москва : Лесная промышленность, 1968. — 351 с.
14. История бумаги в России // Портал о бумаге : сайт, посвященный бумаге, ее производству и использованию. — URL: <http://uniq-paper.ru/istoriya-bumagi-v-rossii/> (дата обращения: 29.10.2021).
15. История бумажной отрасли в России // Europapier : Один из ведущих оптовых поставщиков бумажной продукции в Центральной и Восточной Европе и СНГ. — URL: https://europapier.ru/interesno_dlya_vas/art149.html (дата обращения: 29.10.2021).
16. ИТС1–2015 : Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. — Москва : Бюро НДТ, 2015. — 291 с.

17. Климов Г. М. Материальный и тепловой балансы котельной установки / Г. М. Климов, М. Г. Климов. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2010. — 54 с.
18. Кожова О. М. Экологический мониторинг Байкала / О. М. Кожова, А. М. Бейм. — Москва : Экология, 1993. — 342 с.
19. Кожухова А. Крупнейший целлюлозный завод в Германии / А. Кожухова // ЛесПром-Информ : Журнал профессионалов ЛПК. — 2006. — № 1(32). — URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1542> (дата обращения: 29.10.2021).
20. Комаров В. И. Классификация видов бумаги и картона / В. И. Комаров, Л. А. Галкина // Технология целлюлозно-бумажного производства : в 3 т. — Т. II, ч. 1. — Санкт-Петербург : Политехника, 2005. — 423 с.
21. Котласский целлюлозно-бумажный комбинат : 40 лет лидерства / [редкол.: Л. Ключкова и др.]. — Архангельск : М'арт, [2001]. — 547, [2] с. : ил.
22. Краткая история бумаги и картона на примере нескольких примечательных событий и фактов // CNews. — URL: https://club.cnews.ru/blogs/entry/kratkaya_istoriya_bumagi_i_kartona_na_primere_neskolkih_primechatelnyh_sobytij_i_faktov (дата обращения: 17.12.2021).
23. Кряжев А. М. Новые технические решения и поиск путей создания экологически безопасного производства беленых полуфабрикатов / А. М. Кряжев и др. // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 1993. — № 4. — С. 16–19.
24. Кряжев А. М. Механохимическое воздействие на техническую целлюлозу для интенсификации технологических процессов // Лесной журнал. — 2004. — № 1. — С. 91–99.
25. Кряжев А. М. Наилучшая доступная технология отбелки работает в Коряжме более десяти лет. Подведение итогов / А. М. Кряжев, А. А. Поздняков // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 2011. — № 10. — С. 13–16.
26. Кряжев А. М. Леса в жизни человечества: вчера, сегодня, завтра / А. М. Кряжев, А. Д. Заварицкий, Е. Г. Белов // Аналитические обзоры литературной информации. Вып. 1. — Санкт-Петербург : Адвис плюс, 2017. — 75 с.
27. Кряжев А. М. Наилучшие доступные технологии — основа развития целлюлозно-бумажной промышленности и лесопромышленного комплекса России в XXI в. / А. М. Кряжев. — Санкт-Петербург, 2020. — 90 с. — URL: <http://ecoline.ru/bat-basis-for-development-of-pulp-and-paper-industry-and-forestry-of-russia-in-21-century/> (дата обращения: 12.12.2021).
28. Лахтиков Ю. ЦБП России: состояние и перспективы / Ю. Лахтиков // ЛесПром-Информ : Журнал профессионалов ЛПК. — 2013. — № 3(93). — URL: <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3136> (дата обращения: 29.10.2021).
29. Лахтиков Ю. О. Переход ЦБП к нормированию по принципам НДТ / Ю. О. Лахтиков // Горячие точки Баренцева региона : научно-практический семинар (28–31 января 2019). — Петрозаводск, 2019. — 12 с.
30. ЛПК России в 2019 году: итоги производства // Сделано у нас. — URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/130021/> (дата обращения: 17.12.2021).
31. Малков С. Обзор мировой ЦБП и текущий статус ЛПК России / С. Малков // Andritz Group. — 2021. — Сентябрь. — URL: <https://paper.narfu.ru/upload/medialibrary/136/Malkov.pdf> (дата обращения: 12.12.2021).
32. Минувя рубежи эпох, 1940–2010 : [книга-фотоальбом об Архангельском ЦБК] / ред.-сост. Н. А. Кошелева. — Архангельск : Архангельский ЦБК, 2010. — 488 с. : цв. ил.
33. Неволин В. Ф. Целлюлозно-бумажная промышленность России / В. Ф. Неволин // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta : TAPPI PRESS Technology Park, 1992. — Р. 233–240.
34. Неволин В. Ф. Терминологический словарь по бумаге и картону / В. Ф. Неволин, В. И. Крупин // Технология целлюлозно-бумажного производства : в 3 т. — Т. II, ч. 1. — Санкт-Петербург : Политехника, 2005. — С. 351.

35. Непенин Н. Н. Технология целлюлозы : в 3 т. — Т. 1 : Производство сульфитной целлюлозы. — Москва : Гослесбумиздат, 1956. — 748 с.
36. Николаев А. Н. Основы биологической очистки промстоков ЦБП : Учебное пособие / А. Н. Николаев. — Ленинград : ЛТА, 1984. — 79 с. — URL: <https://pandia.ru/text/79/238/89262.php> (дата обращения: 30.10.2021).
37. Обзор «Лесной комплекс России в 2019–2020 годах»: нисходящий ценовой тренд, снижение финансовых показателей, торможение российского ЛПК и появление новых «черных лебедей» // WhatWood : Исследования и аналитика в ЛПК. — 2020. — 20 марта. — URL: <https://whatwood.ru/russian-forest-industry-review-2019-2020/> (дата обращения: 12.12.2021).
38. Они Л. А. Анализ ошибок, допущенных в ходе внедрения отечественных систем регенерации отработанных щелоков на магниевом основании / Л. А. Они // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее : материалы научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г.). — Санкт-Петербург, 1992. — С. 40–42.
39. Отбелка целлюлозы / пер. с англ. В. М. Сперанского; под ред. Ф. П. Комарова. — Москва : Гослесбумиздат, 1957. — 325 с.
40. Полвека в строю : Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат (1940–1990). — Архангельск : Северо-Западное книжное издательство, 1990. — 143 с. : фот.
41. Пономарев О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом : обзорная информация / О. И. Пономарев, Ф. Д. Ляпина, В. О. Шапиро // Целлюлоза, бумага и картон. — 1990. — № 12. — с. 35
42. Производство бумаги в России и СССР // БУЗЕОН : музей бумаги. — URL: <https://buzeon.ru/history/ussr> (дата обращения: 29.10.2021).
43. Пыляев М. И. Старый Петербург: История былой жизни столицы Российской империи. — Москва : ЭКСМО, 2005. — 544 с.
44. Раскин Н. М. Николай Леблан (1742–1806) / Н. М. Раскин // Пионеры машинной индустрии / ред. В. Ф. Миткевич. — Москва ; Ленинград : Издательство АН СССР, 1937. — С. 125.
45. Розен Б. Я. Чудесный мир бумаги / Б. Я. Розен. — Москва : Лесная промышленность, 1986. — 127 с.
46. Ролл // Большая советская энциклопедия. — Москва : Советская энциклопедия, 1969–1978. — URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/128069/Ролл> (дата обращения: 29.10.2021).
47. Самсонов Н. Е. Сравнение бисульфатного и двухступенчатого методов варки древесины / Н. Е. Самсонов [и др.] // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее : материалы научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г.). — Санкт-Петербург, 1992. — С. 9–10.
48. Скобелев Д. О. Энергетический менеджмент: прочтение 2020 : руководство по управлению энергопотреблением для промышленных предприятий / Д. О. Скобелев, М. В. Степанова. — Москва : Колорит, 2020. — 92 с.
49. Смирнов В. С. От ёлки до газеты / В. С. Смирнов. — Москва : Учпедгиз, 1962. — 60 с. — URL: <http://www.nehudlit.ru/books/detail1186245.html> (дата обращения: 29.10.2021).
50. Смирнов Р. Е. Производство сульфитных волокнистых полуфабрикатов : Учебное пособие / Р. Е. Смирнов. — Санкт-Петербург : ГОУВПО СПбГТУРП, 2010. — 146 с.
51. Соловьев Ю. И. История химии: развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. : пособие для учителей / Ю. И. Соловьев. — Москва : Просвещение, 1983. — 368 с.

52. *Спангенберг Р.* Перспективы в области переработки макулатуры / Р. Спангенберг // Материалы научно-технической конференции PAPFOR-94 (Санкт-Петербург) : сборник пленарных докладов. — Санкт-Петербург, 1994. — С. 166–183.
53. СССР — могущественная индустриальная держава // Страна Советов за 50 лет : Сборник статистических материалов. — Ч. III. — Москва : Статистика, 1967. — URL: <http://istmat.info/node/16044> (дата обращения: 29.10.2021).
54. *Старосельская-Никитина О. А.* Очерки по истории науки и техники периода французской буржуазной революции / О. А. Старосельская-Никитина, С. И. Вавилов, В. П. Волгин. — Москва, 1946.
55. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : проект. — Москва : Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 2017. — 64 + 27 с. — URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_les2030_20102017.pdf (дата обращения: 30.11.2021).
56. *Татарчук В. И.* Производство сульфитной целлюлозы в мире и в России. Состояние и перспективы / В. И. Татарчук // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее : материалы научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г.). — Санкт-Петербург, 1992. — С. 1–4.
57. *Фёлкер Э.* Большая отбелка: Одна промышленная история / Э. Фёлкер. — Ниферн : Гебр. Бельмер ГмбХ, 1992. — 159 с.
58. *Шпаков Ф. В.* Основные направления совершенствования технологии производства беленых полуфабрикатов в России на пороге XXI века / Ф. В. Шпаков, В. Ф. Неволин // Сборник пленарных докладов на пятой международной конференции PAPFOR-98 (Санкт-Петербург, 16–17 ноября 1998 г.). — Санкт-Петербург, 1998. — С. 74–84.
59. *Энгельмейер П.* Бумага писчая / П. Энгельмейер // Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона : в 86 т. — Т. IVа. — Санкт-Петербург : Брокгауз, Ефрон, 1891. — С. 919.
60. Environmental management in the pulp and paper industry: Technical report No 34 // United Nations environment programme industry and environment. — Stockholm, 1996. — 232 p.
61. *Hartler N.* The future of sulphite pulping // Pulp Paper International Magazine. — 1990. — Vol. 32, No 1. — P. 40–41.
62. *kn_nazarov.* Размольное оборудование : Толчея // Бумага ручной выделки : Верже. — URL: <https://kn-nazarov.livejournal.com/1782.html> (дата обращения: 30.10.2021).
63. *Numminen Ju.* Will we see Greenfield Pulp Mill projects built in Russia? Banker's view. — International Forum PAPFOR Russia, 2012.
64. *Hart P. W.* Alternative «green» lime kiln fuels : Part II : Woody biomass, bio-oils, gasification, and hydrogen // Tappi Journal. — 2020. — Vol. 19, No 5. — P. 271–279.
65. *Reeve D. W.* The Kraft Recovery Cycle // Tappi Kraft Recovery Operations Short Course. — TAPPI PRESS, 2002. — P. 58.
66. *Slinn R. G.* Pulp and Paper Industry Trends in the United States and the World // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta : TAPPI PRESS Technology Park, 1992. — P. 1–20.
68. *Smook G. A.* Handbook for pulp and paper technologists / Second Edition Angus Wilde publications. — Vancouver (Canada), 1992. — 419 p.
67. *Suhr M.* European Comission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board / M. Suhr, G. Klein, I. Kourti [et al.]. — 2015. — 866 p.
69. *Wong A.* Sulphite, New Wave // Предварительная печать докладов на научно-технической конференции PAPFOR-92. — Atlanta : TAPPI PRESS Technology Park, 1992. — P. 233–240.