# 14

# ПРОИЗВОДСТВО ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ, БУМАГИ, КАРТОНА

#### Анатолий Максимович Кряжев

000 «Адвис плюс», главный технолог, доктор технических наук

#### Екатерина Андреевна Фрундина

Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», специалист отдела стандартизации, методологии и оценки НДТ

## **ВВЕДЕНИЕ**

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 «мокром» процессе производства бумаги в качестве жидкости используется вода.

Не существует четкого различия 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 более 250 г и толщину более 0,5 мм. Объемная масса бумаги колеблется в пределах 0,40–1,35 г/см². 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 отечественной практике проводят по различным признакам: целевому назначению, главному потребительскому свойству, особым характеристикам продукции, специфике технологии ее получения, потребительскому спросу и т. д. В настоящее время пока нет единой международной системы классификации бумажной продукции.

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 игральных карт;
- бумага для письма, черчения и рисования: акварельная, бристольская, 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 окиснортутных 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, электроизоляционных 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 в настоящее время эта продукция уже 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.

#### ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

На рис. 14.1 представлена схема производства продукции в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). В качестве сырья используется балансовая древесина, товарная щепа из отходов лесопиления, макулатура, а также недревесное сырье (солома культурных злаков; трава, например, эспарто; хлопок, лен, конопля, джут и тряпье, их содержащее; дикорастущие однолетние растения — камыш, тростник и пр.). Из древесного и недревесного 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.).

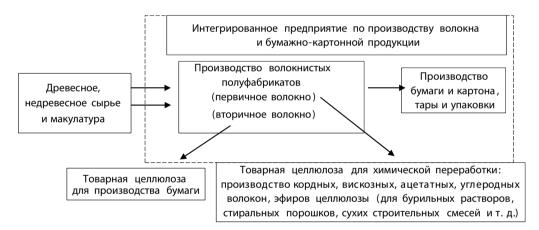


Рис. 14.1. Схема производства продукции в целлюлозно-бумажной промышленности

В целлюлозно-бумажной промышленности под отдельным целлюлозным волокном подразумевается единичная клетка, выделенная из древесины или недревесного растительного сырья. В растительном сырье целлюлозные клетки соединены между собой в древесную ткань межклеточным веществом (лигнином), поэтому для разделения древесной ткани на отдельные волокна используют три основных способа: механический, комбинированный химико-механический и химический. В табл. 14.1 приведена классификация способов производства волокнистых полуфабрикатов из древесного сырья. Следует отметить, что волокнистый полуфабрикат высокого выхода (90–98%), получаемый механической обработкой древесного сырья, называют механической (древесной) массой. Полуфабрикат, производимый комбинацией химической и механической обработки, называют полуцеллюлозой, которая имеет промежуточный выход волокна 55–90%. Волокнистый полуфабрикат, получаемый сульфитной или сульфатной варкой растительного сырья, обозначают термином «техническая целлюлоза» (для отличия от целлюлозы, находящейся в древесине), выход которого составляет 40–55%.

*Таблица 14.1*. Классификация способов производства волокнистых полуфабрикатов из древесного сырья

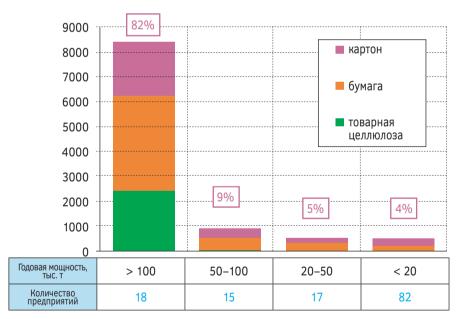
Дрозонного остран					
Механический	Комбинированный	Химический			
Производство волокон за счет механической энергии	Производство волокон комбинацией химической и механической обработок				
Вид волокнистого по	луфабриката и оптимальная поро,	да древесного сырья			
ДДМ — дефибрерная древесная масса из 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	Варка с зеленым щелоком	Сульфитная целлюлоза, полученная по кислотному способу варки щепы, преимущественно древесины ели			
TMM — термомеханическая масса из щепы древесины ели					
XTMM — химико-термомеханическая масса из щепы древесины ели и осины					
БХТММ — беленая химико-тер- момеханическая масса из щепы древесины ели и осины					
Выход волон	книстого полуфабриката из древес	сного 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 воло- кон 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			

Большая часть первичных товарных полуфабрикатов производится для бумажно-картонной продукции и только небольшая часть волокнистого сырья порядка 3,5–5 млн т в мире ежегодно используется для химической переработки.

Для производства бумаги и картона широко применяют макулатурное (вторичное) волокно, получаемое в процессе переработки макулатуры. Марки макулатуры и их состав представлены по ГОСТ 10700–97 «Макулатура бумажная и картонная. Технические условия». В 2011–2018 гг. среднедушевое потребление бумаги и картона в России подросло до 46 кг, однако оно значительно уступает ведущим развитым странам. Кроме того, собираемость макулатуры в России также низкая и составляет около 25%, тогда как в Европе — 75% и США — 65%. Поэтому недостаточный уровень потребления и сбора макулатуры в нашей стране сфокусировали подготовку макулатурных волокон, главным образом, на более простой технологии производства санитарно-гигиенических и тароупаковочных видов продукции. Естественно, меньшая доля использования вторичного волокна в композиции бумаги и картона увеличивает себестоимость продукции.

## ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ

В 2018 г. в России действуют 132 целлюлозно-бумажных предприятия. Крупнейшие заводы — всего их около 20 — расположены в Архангельской, Иркутской, Нижегородской областях, Республиках Карелия, Марий Эл и Коми, Пермском крае. На рис. 14.2 представлена структура предприятий ЦБП России и производство продукции в 2018 г. Как видно из рис. 14.2, на 18 предприятиях с годовой производительностью более 100 тыс. т. произведено 82% продукции, на 15 предприятиях с годовой мощностью 50–100 тыс. т выработано 9% продукции, а на 99 предприятиях мощностью менее 20 до 50 тыс. т также произведено 9% продукции.



*Puc. 14.2.* Структура предприятий ЦБП России и производство продукции в 2018 г. Источник: Росстат, обработка РАО Бумпром

В нашей стране пять крупнейших производителей целлюлозы: филиалы АО «Группы "Илим"» в г. Коряжме (1,3 млн т), в г. Братске (1,2 млн т) и в г. 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 Сегежский ЦБК (входит в состав Segezha Group корпорации АФК Система) объем варки целлюлозы превысил 400 тыс. т/год, тогда как остальные целлюлозные предприятия России имеют производительность от 50 до 100 тыс. т (рис. 14.3, табл. 14.2).

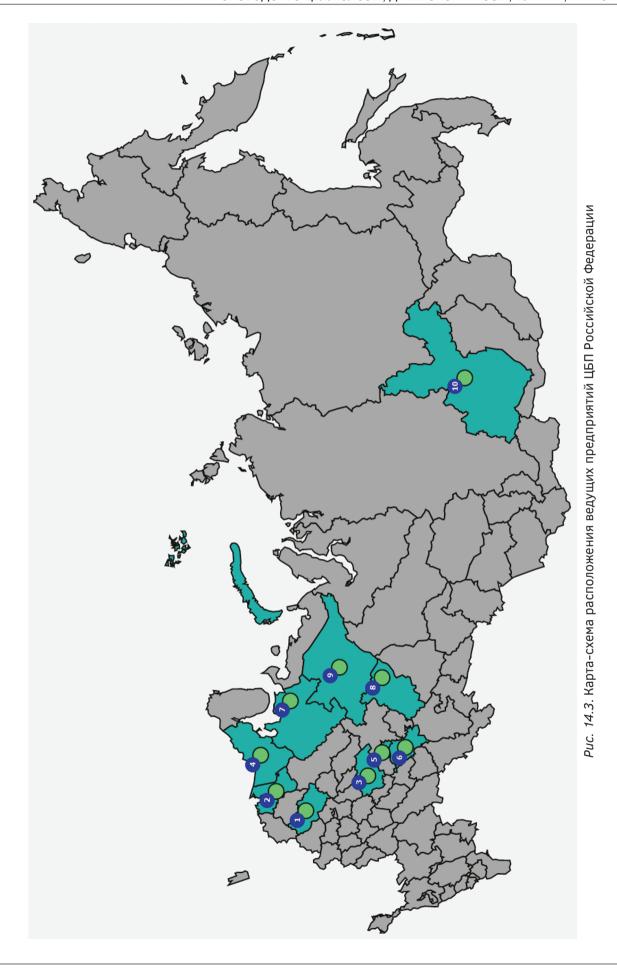


Таблица 14.2. Ведущие предприятия ЦБП Российской Федераци

№ на карте	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	AO «Волга»
4	Республика Карелия	ОАО «Кондопога» АО «Сегежский ЦБК»
5	Республика Марий Эл	AO «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

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 капитальные затраты на инфраструктурные проекты (новые электрические сети, дороги; жилищное строительство и т. д.). Однако такой подход не развивает другие лесные регионы страны. Целлюлозно-бумажная промышленность является исключительно капиталоемким производством, поэтому сроки окупаемости проектов реконструкции, в том числе при переходе на наилучшие доступные технологии (НТД), во многом определяют производственные мощности предприятия, и чем больше выпуск товарной продукции, тем короче срок окупаемости инвестиционного проекта.

Ведущие предприятия России с объемами производства свыше 100 тыс. т продукции в год (данные РАО «Бумпром») представлены в 10 субъектах Российской Федерации (рис. 14.3, табл. 14.2).

#### ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## Появление бумаги и ее производство в мире

Из предшественников бумаги, сведения о которых дошли до наших дней, были глиняные плитки, папирус и животный пергамент.

Археологи при раскопках крупнейшей библиотеки древнего мира ассирийского царя Ашшурбанипала, жившего 2600 лет назад, нашли несколько десятков тысяч глиняных плиток. «Глиняные» книги были исключительно громоздкими и тяжелыми. Однако на глиняных плитках писали вплоть до III в.

Изготовление папируса возникло в древнем Египте 3500 лет до н. э., и он стал удобным носителем письменной информации, поскольку книги из папируса представляли собой

свитки и по сравнению с глиняными плитками были легкими и требовали меньше места в библиотеках. Расширение торговых связей между государствами, развитие литературы, науки и искусства вызвало рост потребности в папирусах, и их производство быстро увеличивалось. Папирусы стали известны и в Древней Греции, и в Риме, но в V в. применение папируса сократилось, а в IX в. и вовсе потеряло практическое значение.

Пергамент — материал для письма из недубленой сыромятной кожи животных. Получил название по имени города Пергам (Пергамское царство, Малая Азия), в котором во ІІ в. до н. э. началось его производство. Пергамент делали из кожи молодых животных. Обработанную окончательно кожу проклеивали животным клеем, натягивали и сушили, разглаживая брусками из твердого дерева. Листы пергамента склеивали в одну полосу и хранили в виде рулонов. В дальнейшем пергамент стали разрезать на отдельные листы. Но пергамент был слишком дорог, поскольку на одну книгу шла кожа целого стада. Пергамент применяли до XII в., когда в Европу пришло производство бумаги. Однако благодаря высокому качеству и долговечности пергамента его еще долго использовали для особо важных документов.

Первое упоминание о бумаге, которая была изобретена в Китае, относится к 12 г. н. э. и первый лист бумаги был изготовлен из волокон пеньки и шелка, а уже в 76 г. н. э. впервые упоминается об изготовлении в Китае книг из бумаги.

Недостатком папируса было то, что в производстве листа целиком использовалась природная ткань луба тростника, нарезаемая узкими тонкими полосками, которые укладывались вдоль и поперек листа. Другой существенный недостаток папируса — географическая привязанность его к дельте Нила, в которой он растет. В отличие от папируса, бумажный лист изготавливается из отдельных волокон любого происхождения. Из предварительно разбавленной волокнистой суспензии лист получают ее обезвоживанием на сетке. Этот способ изготовления бумаги из размельченных 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».

Цай Лунь действительно совершил великое открытие, обладавшее неоспоримыми преимуществами перед ранее существовавшим способом изготовления бумаги в Китае. Долгое время считалось, что первая бумага появилась в 12 г. н. э., т. е. при жизни Христа, и сырьем для ее производства служили шелк и пенька. Однако археологические раскопки 1957 г., проведенные в провинции Шэньси, продемонстрировали образцы бумаги, возраст которой мог быть отнесен к I или даже ко II в. до н. э. Но это не умаляет заслуг Цай Луня, который впервые изготовил бумагу высокого качества и доказал, что для ее изготовления можно использовать любое растительное сырье, а также волокнистые отходы.

Китайцы пытались хранить секрет изготовления бумаги как государственную тайну. Тайна хранилась почти 500 лет, но неминуемо должна была раскрыться. Священные тексты Будды стали распространяться по всей стране на бумаге и вполне естественным образом попали к соседям — корейцам и японцам. Корея узнала «государственный секрет» в V в., но ничего нового в технологию изготовления бумаги не внесла. Впервые в Индии и Вьетнаме в V в. получили бумагу из вторичного сырья: льняного, пенькового тряпья и старых парусов, что можно считать первым шагом в области переработки вторичных ресурсов с целью выработки бумаги.

В Японию бумага попала в начале VII в., и ее мастера оказались на высоте. Они внесли много усовершенствований в технологию производства, благодаря чему появились различные виды декоративной бумаги. Япония оказалась первой страной, где бумага стала широко использоваться для изготовления предметов домашнего обихода. Первый маркетинговый ход в области производства бумаги и первое плантационное выращивание древесного сырья были сделаны сыном микадо (императора Японии) Тайши. Император издал указ об изготовлении бумаги только из коры шелковицы, для этого он приказал насадить шелковичные рощи по всей стране. По некоторым данным, Тайши был еще и ученым. Он выяснил, что бумага из коры шелковицы лучше китайской бамбуковой: она получилась более плотной, прочной, а главное, гибкой.

Почти в то же время бумажное производство началось в арабском мире. Самарканд, бывший столицей Согдианы, стал первым мусульманским городом, изготовившим бумагу. Несколько позже легендарный халиф Харун ар-Рашид (776–809) повелел повсеместно использовать бумагу для делопроизводства, что потребовало увеличить объем ее выработки.

Появление большого количества бумаги в арабском мире во многом способствовало перенесению на удобный носитель многочисленных сказок и легенд. И вскоре появился популярный сборник народных сказок, в которых частым героем был Харун ар-Рашид и популярный вольнодумец Абу Нувас. Так начало складываться знаменитое собрание сказок «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 г. Валенсия, принадлежавшей арабам. Затем бумажное производство в 1190 г. продвинулось во Францию (г. Геро), позднее, в 1260 г., в Италию (г. Фабриано). Итальянцы предложили толчею для повышения производительности размола тряпья, а для прессования влажных листов стали использовать винтовые прессы.

Первый на Руси документ, написанный на бумаге, — Договорная грамота московского Великого князя Симеона Гордого с братьями — появился в 1341 г., а в 1381 г. вышла первая книга на бумаге — «Поучения Исаака Сирина». На Руси в ту пору в делопроизводстве и быту широко использовалась береста. Собственное производство бумаги началось лишь в XIV, а по некоторым сведениям — в середине XVI в. Позднее появление в русском государстве бумажных производств до некоторой степени объяснялось дешевизной бересты и малочисленностью населения.

В Европе продолжается рост производства бумаги, и в 1370 г. начато производство в Средней Европе в г. Аша и в Германии в 1389 г. Первый магазин, торгующий бумагой, открылся в 1394 г. в Италии, в г. Милане. В 1407 г. началось производство бумаги в Бельгии, а в 1411 г. — в Швейцарии в г. Марли.

В 1453 г. немецкий изобретатель Иоганн Гутенберг создал способ книгопечатания подвижными литерами, который перевернул всю европейскую культуру и подарил ей возможность небывалого взлета. Он напечатал 180 экземпляров 1272-страничной Библии, из которых 135 экземпляров было отпечатано на первосортной итальянской бумаге, а на пергаменте — только 45, и стоили они дороже. Так в XV в. бумага одержала безоговорочную победу в конкурентной борьбе с животным пергаментом, а Иоганн Гутенберг за заслуги перед человечеством был признан ЮНЕСКО человеком тысячелетия.

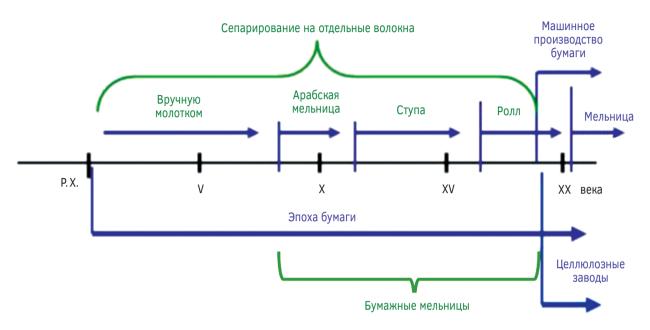
В Средние века бумажники были уважаемыми людьми и считались служителями искусства. В университетах того времени к ним обращались не иначе как «почтеннейший и высокоискуснейший господин бумажный мастер». И как не вспомнить замечательные слова, посвященные в XVI в. бумаге: «Бумага — орудие ученых, основа для книг, домашний советник канцеляриста, сокровище учеников, фундамент человеческой дружбы».

Необходимо отметить, что производство технической целлюлозы из древесного сырья началось всего  $\sim$  150 лет назад (рис. 14.4).

Что же ранее служило источником сырья для производства бумаги? Обратимся к энциклопедии Брокгауза и Эфрона, изданной в 1890 г.: «....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, чемерица, 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, алое, альфа, пизанг, джут, юкка, шерсть, шелк, кожа, асбест и торф». Добавим, что белизна бумаги определялась исключительно выбором белого тряпья. Загрязненное и цветное тряпье использовалось только для производства оберточных, переплетных и других видов бумаги. «Луговая отбелка» (отбелка в поле, на траве) была слишком дорогим процессом и поэтому для отбелки бумажной массы не применялась (рис. 14.5).



Без малого две тысячи лет помимо текстильных волокон и хлопка сырца в производстве бумаги использовали однолетние растения, а также луб коры деревьев. Луб механически отделяли от корки коры и варили в течение нескольких часов в открытых чанах с золой или известковым молоком. Затем промывали водой и молотком расщепляли на отдельные волокна. Сама древесина химической переработке не подвергалась. И это не удивительно, поскольку к началу XIX в. о строении и, соответственно, о свойствах древесины почти ничего не было известно. Помимо отсутствия знаний не было налажено крупномасштабное промышленное производство необходимых химических реагентов, в частности щелочи.



*Puc. 14.4.* Технические усовершенствования в производстве волокнистого полуфабриката для получения бумаги

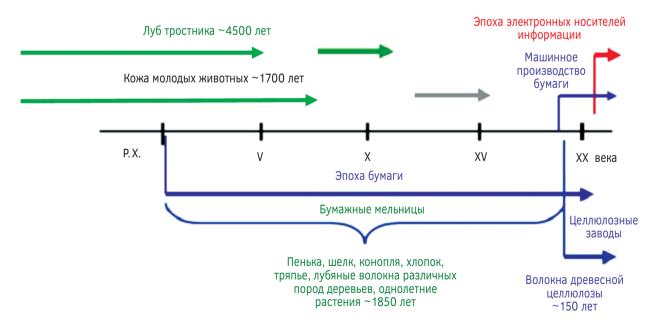


Рис. 14.5. Источники сырья для производства письменных носителей информации

В том самом 1799 г., когда армия Суворова штурмовала Альпы, служащий бумажной мануфактуры в Эссоне Н. Л. Робер предложил механизировать отлив бумаги на бумагоделательной машине — самочерпке. 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.

Братья 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 процесс производства бумаги ее проклейка непосредственно в бумажной массе, которую в 1807 г. предложил изобретатель Мориц Фридрих Иллинг, заменившая поверхностную обработку клеем каждого листа. Англичанин Джон Дикинсон в 1809 г. запатентовал первую круглосеточную (барабанную) бумагоделательную машину, и уже через пять лет на бумаге, полученной на круглосеточной машине, выпустили газету.

Первые бумагоделательные машины лишь формовали и прессовали бумажное полотно, а сушили бумагу, как и раньше, на воздухе. Только в 1823 г. появились сушильные цилиндры с угольными жаровнями. Позднее для их нагрева стали использовать пар, что упростило и механизировало процесс сушки. Еще через два года под сетку машины поместили отсасывающие ящики с вакуумными насосами, что увеличило скорость обезвоживания на сетке, а в 1825 г. на бумажные машины установили ровнительные валики для механического нанесения водяных знаков.

В течение долгого времени древесное вещество считали простым углеводом и только в 1838 г. в древесной ткани впервые выделили целлюлозу и «инкрустирующие вещества». Это было первым шагом в исследовании строения древесного вещества, которое получило название древесной ткани и стало основой для поиска способов ее разделения на отдельные волокна.

С появлением в начале XIX в. первых бумагоделательных машин потребовалось больше волокнистого сырья, источником которого в основном было тряпье. С каждым годом потребность в сырье для производства бумаги увеличивалась и на помощь бумажникам пришла древесина. В 1843 г. Фридрих Готлиб Келлер из Саксонии первый получил древесную массу, прижав для разволокнения древесину тополя к шлифовальному кругу, а в 1845 г. — первую бумагу в композиции 60% древесная масса и 40% ветоши. В 1852 г. построили две первые промышленные машины для производства дефибрерной древесной массы (ДДМ), что стало началом промышленного производства механической массы из древесного сырья.

В 1851 г. в США появилась первая банковская карта, началась эпоха постепенной замены бумажных денег.

В 1853 г. для удаления «инкрустирующих веществ» был предложен натронный способ варки, который стал первым химическим способом получения целлюлозы из древесины. Первый завод по производству целлюлозы натронным способом построили в США в 1860 г.

В 1854 г. Оттмар Мергенталер разработал первую работоспособную наборную машину и обеспечил головокружительный рост спроса на газетную бумагу. Писатель Марк Твен вложил почти все свое состояние в работоспособное, но слишком сложное устройство — и все потерял.

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

Ученые в 1857 г. обнаружили в древесине окисляемую субстанцию, которая получила название лигнин. Это послужило основой для поиска различных химических способов

выделения целлюлозы за счет растворения лигнина. Уже в 1863 г. был выдан один из первых патентов на метод кислотной делигнификации, посредством которой древесная ткань распадалась на отдельные волокна (клетки), а в 1870-е гг. построили первые сульфитцеллюлозные заводы в Швеции и Германии.

Бумага проникает во все сферы жизни человека и ее нужно все больше и больше. Когда в 1882 г. С. Ф. Далем был открыт сульфатный способ варки целлюлозы, в котором он предложил восполнять потери щелочи сульфатом натрия, который имеется в природе, то очень скоро, в 1885 г., в Швеции построили первый сульфатцеллюлозный завод. В США первый завод по производству сульфитной целлюлозы построили в 1884 г. В этой стране в 1871 г. впервые появилась туалетная бумага и получен первый патент на бумажные полотенца.

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 до настоящего времени.

Первые сульфатцеллюлозные заводы в России построили в 1910 г. в Понинках и Пензе, выпускали целлюлозу из соломы.

Если раньше для получения волокон использовали в древесине только внутреннюю часть коры — луб, который составляет лишь ~ 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.

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». В производстве технической целлюлозы из древесного сырья потребовалось оборудование для производства щепы, варки и отбелки целлюлозы, регенерации химикатов, а также различные химические реагенты (щелочь, кислоты, хлор, гипохлорит натрия), контрольная, измерительная аппаратура, методы анализа поступающих сред и готовой целлюлозы. В технологических процессах используются избыточное давление и агрессивные среды. Новое, наукоемкое производство впитало в себя результаты исследований и опытно-конструкторских работ XVIII—XIX вв. в областях неорганической и органической химии, химии древесины, технологии производства целлюлозы, химической технологии процессов и аппаратов. В этой связи можно упомянуть работу Л. П. Жеребова «Химическая сторона сульфит-целлюлозного производства» (1894), 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. Заварицким 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, когда для варки 1 т целлюлозы необходимо 350 кг поташа в единицах NaOH.

Современная наука берет свое начало с 1620-х гг. Одна из первых академий наук в мире, Парижская Академия наук, 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 для производства стекла и мыла взамен древесной золы. Французский химик-технолог и инженер Николя Леблан разработал промышленный способ получения чистого карбоната натрия из поваренной соли. 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 наука дала человечеству». И это не является преувеличением 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 сохранению от варварского истребления лесов и толчком к развитию стекольной промышленности. Однако через 150 лет технология, разработанная Н. Лебланом, была востребована для регенерации щелочи в производстве целлюлозы по сульфатному методу варки и успешно применяется до настоящего времени.

Только значительно позднее возникло производство аммиачной соды. В 1865 г. Эрнест Сольве построил небольшой завод в местечке Куйе (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., которая ежедневно производила 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 появилась 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 бумаги в сутки. 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. Началась специализация машин для производства определенных сортов бумаги и картона. За первые двадцать лет XX века ширина машины увеличилась до 6 м, скорость — до 300 м/мин, а производительность — до 100 т/сут.

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 годов сульфитный и сульфатный способ 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 Г. Х. Томлинсоном, который открыл эру экономичной и энергоэффективной сульфатной варки целлюлозы.

Удельный вес сульфитной целлюлозы в общем объеме выпуска целлюлозы в разных странах в 1950-х гг. представлен в табл. 14.3.



Таблица 14.3. Уровень производства сульфитной целлюлозы в различных странах в начале 1950-х гг.

	Производо	ство, млн т	Удельный вес сульфитной	
Страна	всех видов целлюлозы	в том числе сульфитной	целлюлозы в общем объеме выпуска, %	
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 он был запрещен на законодательном уровне. Этот запрет связан с образованием дурнопахнущих соединений серы в процессе варки (первый сульфатцеллюлозный завод появился только 2004 г.). 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 Potlach 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's Kaukopää (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 энергию. 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, который резко увеличил стоимость энергии. Сульфитные заводы впервые столкнулись с проблемой закрытия производства или увеличением его объема 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 щелока для получения энергии.

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 затруднения», тогда как сульфатный способ варки в щелочной среде лишен данного недостатка и перерабатывает любые древесные породы. Помимо ограничений породного состава древесины, используемого на варку сульфитным способом, у нее хуже бумагообразующие свойства, 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 часа больше, чем у сульфатной. Следовательно, оборот варочного котла при периодической сульфитной

варке больше, и соответственно, суточная и годовая производительность с 1 м<sup>3</sup> объема котла в два раза ниже, чем у сульфатной периодической варки, и совершенно не сравнима с непрерывным способом. Этот показатель исключительно важен, поскольку производство целлюлозы капиталоемкое и более высокая производственная мощность имеет короче 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 древесину лиственницы. 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 его экологические преимущества. 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 в окружающую среду и низкими, в 4-6 раз меньшими удельными капитальными затратами: 50 тыс. долларов на 1 т ТММ вместо 200-300 тыс. долларов/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 ХТММ по производству 375 т/сут и выходом массы 90-92%, поставленная фирмой «Дефибратор», начала работать в 1978 г. в Канаде на заводе «Ко Канадиан Интернэшнл Пейпер», г. Гатино, провинция Квебек. Удельный расход энергии на производство ХТММ составляет 1340 кВт $\cdot$ ч/т. Использование ХМММ 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 электронной коммуникации, и высказывались опасения, что она полностью вытеснит бумагу. Однако спрос на бумагу, и особенно

на «деловую» (конторскую) бумагу и бумагу для деловой переписки, значительно увеличивается с изменением ее ассортимента. 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. До 2000 г. темпы среднегодового прироста спроса на бумагу и картон устойчиво сохраняются на уровне 2,3%.

«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 в Западной Европе — 3,2 млн т, в США — 4,1 млн т (исключая безугольные бумаги). Потребление безугольной копийной бумаги в Западной Европе составляет 560 тыс. т, в США — 670 тыс. т. Однако в связи с переходом на новые способы репродуцирования, использование 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 гг.

В конце 1980-х гг. в странах с развитой ЦБП, таких как США, Канада, Швеция, Финляндия, Австрия и Япония, работало 355 сульфитцеллюлозных заводов. 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/год, в то время как производство сульфатной целлюлозы в мире должно увеличиться на 9 млн т.

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/год. Более крупные сульфитцеллюлозные предприятия входят в состав ЦБК. Объем производства сульфитной целлюлозы относительно общего выпуска целлюлозы в разных странах и СССР приведены в табл. 14.4.

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

Таблица 14.4. Объем производства сульфитной целлюлозы в различных странах в 1989 г.

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.

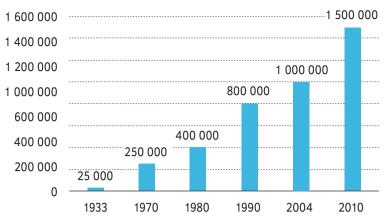
появились предприятия, которые на этот период времени можно считать эталоном рационального применения сульфитного способа варки целлюлозы. Сульфитную варку совершенствуют и проводят периодическим и непрерывным способом. В связи с ужесточением требований по снижению выбросов в водоемы и атмосферу, особенно в странах Центральной Европы, в 1990-е гг. некоторые предприятия перешли на продленную делигнификацию (варка целлюлозы до более низких чисел Каппа), что снижает расход хлора на отбелку сульфатной и сульфитной целлюлозы, или полностью отказываются от его применения, 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.) Такие предприятия 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 копийная / множительная бумага. 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 компьютеров.

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 кг, в Германии — 24 кг, в России — 3 кг. 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, в Японии — 121 кг, в Италии — 110 кг, в Мексике и России — по 34 кг, в Пакистане — 3 кг, в Уганде — 0,4 кг. Основным побудительным мотивом переработки макулатуры стало использование доступного и более дешевого источника волокна, которое обеспечивало снижение затрат на производство бумажно-картонной продукции.

На рис. 14.6 представлено увеличение годовой мощности в мире одного технологического потока по производству сульфатной целлюлозы начиная 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. Легко представить, если крупнейшая в мире БДМ 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, то какие астрономические потери это принесет производству. Сегодня важнейшим инструментом 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.





*Puc. 14.6*. 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 было построено ни одного целлюлозного завода. 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 беленой целлюлозы. Инвестиции составили 1 млрд евро, срок окупаемости завода 15 лет при жизненном периоде предприятия 30–40 лет. 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 инвестиции 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 увеличивается объем варочных котлов и суточная производительность варочного цеха сульфитной целлюлозы (табл. 14.5).

<i>Таблица 14.5</i> . Изменение суточного производства сульфитной и сульфатной целлюлозы
в XX в. и в начале XXI в. на передовых предприятиях

	1900 г.	1930 г.	1950 г.	1980 г.	2010 г.
Объем сульфитных варочных котлов, м <sup>3</sup>	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-х гг. составляет всего 4%, из которого 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 «EI Mundo» одной из первых открыла сайт в интернете, который в дальнейшем стал самой популярной онлайн-газетой во всем испаноязычном мире. По данным компании, сайт стал очень прибыльным начиная с 2003 г. Не случайно известные в мире журналы «ТАРРІ» с 2012 г. и «Nesweek» с 2013 г. сменили бумажный формат на электронный. Нет сомнения, что данная тенденция сохранится, поскольку выросло новое поколение людей, которое предпочитает 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). 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, и если в 2017 г. оно составило 7,5 млрд, то к 2030 г. может достигнуть 10 млрд человек. Поэтому по данным RISI к 2030 г., ожидается рост продукции ЦБП с 440 до 570 млн т, или на 30%!

#### 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. 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 Савинов. Полагают, что в селе Копнино на реке Уче водяные колеса бумажной мельницы вертелись с 1550 г., но мельница 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 и железную ступу. За границей оковку пестов толчеи 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 основана в Красном Селе под Петербургом бумажная мельница — одна из старейших в России (в 2003 г. закрыта), 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. рублей. 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». 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 размола тряпья нового размалывающего аппарата — ролла, который заменил малопроизводительную 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 зарядов. Для производства бумаги необходимо было сырье, поэтому в 1720 г. вышел указ Петра I, согласно которому в армии и морском флоте производился



сбор изношенных парусов, несмоленых канатов, веревок, разного тряпья, а люди, 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. В первой четверти XVIII в. в стране выпустили больше книг, чем за два предыдущих столетия (600 научных изданий и учебников).

Русские мастера совершенствовали разные стороны процесса изготовления бумаги. Так, был предложен способ отбелки 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. В 1778 г. Сенат издал указ о клеймении бумаги. К концу XVIII в. в России насчитывалось более 60 бумажных фабрик, расположенных в 24 губерниях, где выделывали бумагу методом ручного черпания, и по оснащению не уступавших европейским. Существовали три вида мануфактур: государственные, купеческие, а также помещичьи, которые помещики 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 производства, солому, осоку, камыш, водоросли и т. д. Наиболее крупные фабрики находились в Москве, Петербурге, Калуге и Ярославле. Заложенная в 1786 г. была под Калугой Троицкая бумажная фабрика производила более 12000 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, Китай.

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 иностранном языке. Но в целом государственная политика в области бумагоделательного производства отставала. Несмотря на преимущество механизированного способа, до 1890-х гг. в России существовали предприятия с ручным отливом бумаги и картона. Причины — отсутствие собственного бумагоделательного машиностроения, дешевизна крепостного труда 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 и 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 и на речке того же названия (25 верст от Архангельска) построил бумажную фабрику. Производство занимало площадь в 1 десятину 730 квадратных саженей (около 1,5 га). 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 выпуску материи и черпания бумаги — 4, винтов выматывать бумагу — 2». 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 листы бумаги становились настолько прочными, что их можно было снимать с сукна. Листы бумаги относились мальчиками в сушильню большое помещение, 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 относили в сушильню. Далее листы сортировались, сгибались пополам, складывались в дести, стопы и запрессовывались. Перед прессованием продукция высших сортов обрезалась, а иногда золотилась по краям. Окончательно приготовленная бумага упаковывалась в бумажные «сорочки» с фабричным ярлыком и в таком виде поступала в продажу.

При ручном производстве единицей учета бумаги служила стопа, содержавшая 480 листов. Дробной единицей стоп служила десть бумаги из 24 листов. В среднем за один рабочий день, продолжавшийся 10–12 часов, на одном черпальном чане получалось 10–12 стоп. На фабрике Демидова трудился один мастер, четыре подмастерья, 12 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, наследника, 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». 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». И в 1871 г. фабрика была разобрана «без остатка». Так завершилась история ручного отлива бумаги в Архангельской губернии.

Но помимо ручного отлива бумаги в стране начиналось 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 в 1835 г. была изобретена бумагорезательная машина, разрезавшая ролевую 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. на 50 фабриках России применялись бумагоделательные машины, то в 1885 г. их количество возросло до 135.

В последнее десятилетие XIX в. русским специалистам принадлежит приоритет в открытии электролитической отбелки целлюлозы (С. Степанов, 1890 г.) и изготовлении асбестового огнестойкого картона — уралита (А. М. Имшенецкий, 1895 г.), высоко оцененного Д. И. Менделеевым и получившего его 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 на Дитятковской, Красносельской и Добрушской бумажных фабриках в конце 80-х гг. XIX в. 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 выработала 600 пудов бумаги, или порядка 10 т. В 1900 г. в России (без Финляндии) действовало уже 12 сульфитцеллюлозных предприятий, на которых было установлено 58 варочных котлов общей емкостью 4660 м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup>, остальные 44 варочных котла, установленные в стране, в среднем небольшие, по 50 м<sup>3</sup> 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. т, 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. т. 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 (ДДМ). 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, Влоцлавский, 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. Пятого августа 1917 г. — первая варка сульфитной целлюлозы на Сухонском ЦБК (в 2006 г. после ряда переименований предприятию вернули историческое название Сухонский ЦБК, которое сохранилось до настоящего времени). 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 производилась в диффузорах мощностью до 10 т/сут.

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 раз.

Выпуск целлюлозы из древесины по сульфатному способу варки начался на Новолялинском ЦБК только в 1922 г. Это был первенец сульфатцеллюлозного производства в СССР — об этом написано в первом номере отраслевого журнала «Бумажная промышленность» за 1922 г. 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 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.

После окончания Гражданской войны в короткий срок восстановлены сульфитные заводы, и довоенный уровень производства бумаги 190 тыс. т был достигнут в 1924/1925 гг. В 1926 г. фирмой «Насктап & К» (Финляндия) в поселке Советский (бывший Йоханнес) заложен первый камень в строительстве 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 городах Мытищи, Ленинград, Могилев и Клин 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 производства эфиров целлюлозы (например, карбоксиметилцеллюлозы (NaKMU)), что получило общее название «целлюлоза для химической переработки». Для оценки масштаба проделанной в стране работе 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. т. В 1929 г. запущен Кондопожский (ныне АО «Кондопожский ЦБК»), в составе варочного цеха установлены три футерованных варочных котла по 130 м³ каждый,

и в 1931 г. — Вишерский ЦБК (закрыт в 2007 г.), что позволило уже через четыре года, 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 бумаги. В этом году 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 развитие сульфатного метода началось в 1930-е гг., было построено много предприятий. 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 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 м<sup>3</sup> с проектной мощностью 72 тыс. т сульфитной целлюлозы в год. В 1940 г. объем выпуска бумаги составил 812 тыс. т, целлюлозы — 529 тыс. т и картона — 151 тыс. т. 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 лиц. Началась эта история в 1937 г., когда один из инженеров центрального института бумажной промышленности, Георгий Михайлович Орлов, обратился с письмом к И.В. Сталину, 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 — начале 1941 г. появились пять номерных целлюлозных заводов: в Архангельской области три завода — завод № 1 в поселке Пуксоозеро, завод № 2 в поселке Кодино, завод № 5 в поселке Волошка; в Кировской области в поселке Созимский завод № 4 и в Свердловской области в г. Туринске завод № 3.

Помимо развития производственных мощностей сульфитной целлюлозы, начиная с 1930-х гг. на крупных предприятиях стали строить цехи 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. Архангельский ЦБК 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: «Экспортлес» поставлены первые 416,8 т сульфитной целлюлозы, выработанной в труднейший для предприятия военный год. В 1945 г. на Архангельском ЦБК начат выпуск беленой целлюлозы и в 1946–1947 гг. эта продукция поставлялась на экспорт. В 1945 г. объем выпуска бумаги в стране составил 321 тыс. т, целлюлозы — 276 тыс. т и картона — 56 тыс. т.

После Великой Отечественной войны в короткие сроки было восстановлено производство сульфитной целлюлозы, в том числе на территории Калининградской области, вошедшей в состав СССР. Так, в 1946 г. возобновили работу Калининградский ЦБК-1

(ранее принадлежал немецкой фирме «Фельдмюллер»), 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 (ЦЗ). 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 Вуоксу. В 1948 г. на Архангельском ЦБК начат выпуск вискозной целлюлозы. В период с 1940 по 1950 г. доля СССР в мировом выпуска целлюлозно-бумажной продукции оценивалась всего в 0.8–1.5%.

После войны, в 1951 г., завод «Энсо» переименован в Светогорский ЦБК (с 2009 г. — ЗАО «Интернешнл Пейпер»), который 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. довоенный уровень производства был превышен и производство бумаги в стране составило 1193 тыс. т, целлюлозы — 1100 тыс. т и картона — 292 тыс. т.

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, сбрасывающихся 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 по БПК<sub>5</sub> 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 выходило 10 603 наименования газет с разовым тиражом 62,3 млн экземпляров и 908 наименований журналов с годовым тиражом 515 млн экземпляров.

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 (г. Ленинград). В этом году весь объем выпуска бумаги составил 2334 тыс. т, целлюлозы — 2282 тыс. т и картона — 893 тыс. т. 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/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 м<sup>3</sup>. В сушильном цехе установлено два пресспата (сушильные машины) производительностью по 150 т/сут; обрезная ширина полотна 4200 мм, рабочая скорость 37–210 м/мин. 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, натрий-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. тонн 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. Также в этот год 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. Амурский целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) 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 м<sup>3</sup> дополнительно введены четыре биметаллических варочных котла по 160 м<sup>3</sup>, 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 производительности 117 тыс. т/год. Варка технологической щепы из лиственных пород древесины производилась на двух установках непрерывной варки типа «Пандия» японской фирмы «Хитачи-Зосен». 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/год по варке и цех по производству из нее на двух картоноделательных машинах (КДМ) тарного картона — крафтлайнера и флютинга. 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,

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 80-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/год. Однако три года работы показали недостаток хвойного сырья и возникла необходимость перехода на переработку лиственной древесины. Уже через полгода коллектив завода не просто выпускал беленую лиственную целлюлозу марки ЛБ-О, 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, в 1982 г. — на Светлогорском ЦБЗ (ныне ОАО «Светлогорский ЦБК, Республика Беларусь). К сожалению, на обоих заводах возникли сложности с отечественным магнийрегенерационным котлоагрегатом (МРК) 300 т а. с. в./сут, и технология регенерации не была доведена до логического конца по ряду проектных и конструктивных причин.

В 1975 г. объем выпуска бумаги составил 5215 тыс. т, целлюлозы — 6815 тыс. т и картона — 3368 тыс. т. 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. т.

Еще в 1970-е гг. с ростом в стране объемов производства и потребления продукции ЦБП был объявлен всесоюзный сбор макулатуры. Инициатива принадлежала Георгию Михайловичу 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, 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 ЦБК. Из-за отсутствия очистных сооружений в 1986 г. закрыто производство вискозной целлюлозы на Приозерском ЦЗ, и завод перепрофилировали на производство мебели. В 1987 г. на предприятиях 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 достигнут в 1988 г. (4-е место в мире после США, Канады и Японии). Сравнение ЦБП СССР с другими ведущими странами представлено в табл. 14.6.

В 1988 г. закрылся Ляскельский ЦБЗ (Республика Карелия), производивший бумагу из древесной массы. В этом же году на Камском ЦБК (в настоящее время ЦБК «Кама») построен новый цех по производству ТММ. Его проектная мощность — 50 тыс. т/ год ТММ, отбелка которой производится перекисью водорода. Оборудование поставлено фирмой «Мицубиси» (Япония), а 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 целлюлозы.

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%), или 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 магниевое 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 табл. 14.7–14.10 представлена структура и характеристика основных фондов ЦБП в СССР и Российской Федерации.

*Таблица 14.6.* Некоторые показатели целлюлозно-бумажного производства в ведущих странах мира в 1988 г.

	Количест предприят			Мощность предприятий, тыс. т/год		Σ,	Производство продукции, тыс. т/год	
Страна	Население, млн чел.	бумажных и картонных фабрик	заводов по про- изводству волокни- стых полуфабрикатов	бумажных и картонных фабрик	заводов по произ- водству волокнистых полуфабрикатов	Потребление бумаги и картона на душу населения, кг/год	бумаги и картона	волокнистых полуфабрикатов
США	245,4	548	217	72862	56860	317	69477	55 530
Канада	26,1	109	36	17 028	25 021	236,4	16 638	23679
Япония	122,4	489	60	27 143	13 176	204,5	24 624	10415
ФРГ	60,7	174	35	11 397	2414	203,7	10 576	2358
Швеция	8,3	55	55	8630	10870	242	8161	10307
Финляндия	4,9	46	47	9095	9545	204	8653	9001
Франция	55,8	146	21	6550	2475	142,2	6313	2190
Великобритания	56,8	92	7	4676	466	163,5	4295	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	226329	160 551

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

Таблица 14.7. Структура основных фондов по производству целлюлозы и полуцеллюлозы в СССР, Российской Федерации и других республиках в 1990 г.

	Варочные котлы					
	People	Периодические		Непрерывные		
	Всего	сульфитные	сульфатные	Камюр	Пандия	
СССР	370	210	117	25	18	
Российская Федерация	345	196	110	25	14	
Другие республики	25	14	7	-	4	

Таблица 14.8. Структура основных фондов по производству бумаги и картона в 1990 г.

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

Таблица 14.9. Характеристики мощности заводов по производству сульфатной и сульфитной целлюлозы в Российской Федерации в 1991 г.

Мощность завода	Число заводов	Доля от об- щего числа заводов, %	Объем произ- водства продукции по проекту, тыс. т	Доля от общего объема продукции, %
	Сульфа	тные 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
	Сульфи	тные заводы		
До 35 тыс. т	7	24	255,1	8
До 65 тыс. т	8	28	344,5	12
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 14.10. Распределение парка бумаго- и картоноделательных машин СССР по скоростям (1990 г.)

Группы машин	Количество	Количество
по скоростям, м/мин	бумагоделательных машин, шт.	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 и 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, и 14 предприятий используют макулатуру в производстве кровельных материалов. Наиболее крупными потребителями макулатуры в России

являются: Санкт-Петербург КБК (до 18%), Набережно-Челнинский КБК (10,4%), Алексинская КФ (12%), Ступинская КФ (9,8%), Балахнинский ЦКК (5,5%), Суоярвская КФ (4,2%).

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 2010-2011 гг. наблюдается рост объема производства продукции ЦБП. Однако наиболее ощутимый прирост производства целлюлозы достиг только в 2018 г., когда ее объем составил 8,6 млн т и практически приблизился к уровню 1987 г. (8,8 млн т), а производство бумаги — 5,3 млн т и картона — 3,2 млн т уже соответствует уровню 1987 г. Начиная с середины 1990-х гг. все предприятия, расположенные на о. Сахалин, 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 20-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.). Редким 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 (ныне «Филиал АО «Группа Илим» в г. Коряжме»). В 2011 г. закрылся Калининградский ЦБК-2, а в 2012 г. остановлено производство на Красноярском ЦБК (последнее название — Енисейский ЦБК). В табл. 14.11 представлены предприятия по производству сульфитной и сульфатной целлюлозы для химической переработки, которые прекратили свою работу.

Таблица 14.11. Сульфитная и сульфатная целлюлоза для химической переработки и ее производители в СССР

Целлюлоза для химической переработки	Производитель, год окончания работы	Назначение
Сульфитная целлюлоза:		
– вискозная	Приозерский ЦЗ — 1986 г.	Вискозное волокно,
	Светогорский ЦБК — 1995 г.	текстильная нить (шелк)
	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:		
– 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

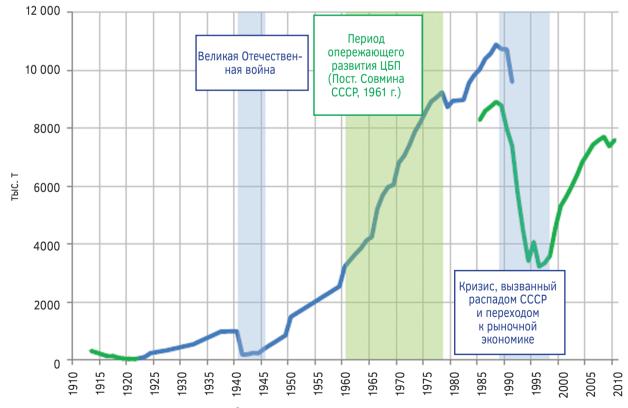
В итоге закрытия предприятий по производству целлюлозы для химической переработки страна лишила свою химическую промышленность отечественного целлюлозного сырья для производства вискозного волокна, текстильной нити (шелк), Na-карбоксиметилцеллюлозы и ацетатов целлюлозы.

О судьбе Байкальского ЦБК. Комбинат прекратил свою работу 25 декабря 2013 г., а 28 декабря 2013 г. Президентом России Владимиром Путиным было подписано распоряжение о создании на территории закрывшегося комбината экспоцентра «Заповедники России». Безусловно, строить завод на озере Байкал, жемчужине Сибири, было нельзя. Но завод построили, и посмотрим, как он работал. Так, по данным, опубликованным в 1993 г. О. М. Кожовой и А. М. Беймом, которые десятилетие проводили планомерные исследования

и собирали информацию о вкладе Байкальского ЦБК в загрязнение озера Байкал, было установлено, что влияние 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 алюминиевого завода и т. д., т. е. то, что и было написано 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%.

Однако в мире есть другие примеры. В Австрии фирма «Ленцинг», расположенная вблизи курортного местечка, является одним из крупнейших в Европе производителей 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 производили всего 30 тыс. т. В качестве примера также можно привести завод в г. Умкомаас в Южно-Африканской Республике, принадлежащий фирме Sappi Saiccor, который производит 600 тыс. т вискозной целлюлозы! Значит, можно расширять производство и не вредить природе.



*Puc. 14.7.* Производство бумаги и картона в России и СССР в 1913–2011 гг. (РАО «Бумпром»)

# Совершенствование методов отбелки целлюлозы

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 молока.

В начале XVIII в. этот метод уже достиг совершенства в Голландии и получил название «луговая отбелка». В основном льняные ткани, вытканные в Англии и других местах, привозились весной в Голландию, а осенью уже отбеленные льняные ткани 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. Им было предложено вместо кислого молока применять слабый раствор серной кислоты, что существенно сократило продолжительность 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 отбелки бумажной массы 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». К развитию производства белильных растворов причастны также французский химик Лавуазье и шотландец Джемс 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 известь. В 1785-1786 гг. «Журнал де физик» опубликовал первый метод отбелки газообразным хлором, предложенный Луи Бертолле. 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 появлением производства хлора и щелочи методом электролиза началась отбелка технической целлюлозы. Сначала отбелку проводили в одну ступень гипохлоритом (Г) в ролле в течение 10 часов, затем по схеме в три ступени Х — Щ — Г, где Х — хлорирование,  $\mathbb{H}$  — щелочение,  $\Gamma$  — гипохлорит, и, наконец, отбелку в четыре ступени  $\mathbb{X}_{\mu}$  —  $\mathbb{H}_{\mu}$  —  $\mathbb{H}_$ 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 табл. 14.12 представлено изменение технологии отбелки сульфитной целлюлозы на конкретном предприятии с 1925 г. до конца 1940-х гг. В табл. 14.13 представлено изменение базовых схем отбелки сульфитной целлюлозы для бумаги в промышленно развитых странах в 1960-1970-х гг.



Таблица 14.12. 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. Халле

Годы производства	1925 г.	1937 г.	Конец 1940-х гг.
Схема отбелки	Γ	X — Щ — Г	$X_{_{\rm H}}$ — $\coprod_{_{\rm B}}$ — $\Gamma_{_{\rm H}}$ — $\Gamma_{_{\rm B}}$
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

*Таблица 14.13.* Изменение базовых схем отбелки сульфитной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1960–1970-е гг.

Годы производства	1960-е гг. 1970-е гг.		
Вид отбелки	Отбелка с хлором		
Схема отбелки	X — Щ — Г — Г — К	X/Д — Щ — Г — Д — К	

*Примечание:* принятые сокращения ступеней отбелки: X — хлорирование;  $\mathbb{H}$  —  $\mathbb{H}$  —

Как видно из табл. 14.13, 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 большую 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. 14.14). 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.

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 выбросы 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 провел оценку токсичности фильтратов от обработки целлюлозы различными реагентами. Работа выполнялась путем отнесения массы каждого конкретного загрязняющего вещества к концентрации, соответствующей порогу токсического действия этого вещества (летальной концентрации ЛК<sub>50</sub>). 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 фильтрата:

- от процесса хлорирования (X) 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.

Таблица 14.14. Изменение схем облагораживания целлюлозы для химической переработки в 1950–1970-е гг.

Годы производства	1950-е гг.	1970-е гг.	
Вид отбелки	Отбелка с хлором		
Схема отбелки		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	

Примечание: Отделение мелочи (мелкого волокна) проводят с целью частичного обессмоливания массы, поскольку на его поверхности сорбированы частички смолы. ХО — холодное облагораживание (мерсеризация) — обработка с расходом щелочи 200% к массе волокна, концентрация массы 5%, температура  $15^{\circ}$ С, продолжительность 60 мин; ГО — горячее облагораживание — обработка с расходом щелочи 10% к массе волокна, концентрация массы 10%, температура  $120^{\circ}$ С, продолжительность 180 мин; К — кисловка — окончательная обработка водным раствором  $SO_2$  для стабилизации белизны целлюлозы.

Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для бумаги представлено в табл. 14.15.

*Таблица 14.15.* Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1960–1970-е гг.

Годы производства	1930-е гг.	1940-е гг.	1960-е гг.	1970-е гг.
Вид отбелки	Отбелка с хлором			
Схема отбелки	х — Щ — Г	х — щ — г — г	X — Щ — Г — Д — Щ — Д — К	Х/Д — Щ — Г — Д — Щ — Д — К
Белизна	70%	80%	90%	90%

Изменение схем отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки представлено в табл. 14.16.

Таблица 14.16. Изменение схем отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки в 1960–1970-е гг.

Годы производства	1960-е гг.	1970-е гг.	
Вид отбелки	Отбелка с хлором		
Схема отбелки кор- дной целлюлозы для высокопрочного корда	х — щ — ц — г — г — щ — д — к	X/Д — Щ — Г — Д — Щ — Д — Г — К X — Щ — Г — ХО — ГО — Д — Г — К	
Схема отбелки ви- скозной целлюлозы	х — щ — г — д — щ — д — г — к	х — щ — г — д — щ — д — г — к	

Примечание: принятые сокращения ступеней отбелки: X/Д — совместная обработка хлорированием и диоксидом хлора; Ш — щелочение;  $\Gamma$  — гипохлоритная; M — холодное облагораживание; M — диоксида хлора; M — кисловка.

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, 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 послереформенной России была внедрена современная схема отбелки ЕСF 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 позволил: 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 на тот период времени наилучшими доступными технологиями, которые представлены в табл. 14.17–14.20.

В табл. 14.17 представлены передовые схемы отбелки при производстве сульфитной беленой целлюлозы. Отбелка сульфитной целлюлозы по бесхлорной технологии ЕСГ 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 стоков показали: стоки отбелки от кислородсодержащих реагентов и хлорсодержащих реагентов и хлорсодержащих реагентов имеют одинаково высокую токсичность, поэтому с точки зрения охраны природы технология TCF не имеет преимущества, если только стоки от отбелки не сжигаются в СРК.

<i>Таблица 14.17</i> . Передовые схемы отбелки сульфитной целлюлозы для производства бумаги
в промышленно развитых странах в 1980–2000-е гг.

Годы производства	80-е гг.	1990–2000-е гг.	
Вид отбелки	ECF	ECF	TCF
Схема отбелки	0 — д — п — к	0 — д — п — к	щоп — к щоп — к
Белизна	90%	90%	83–89%

*Примечание:* О — кислородно-щелочная делигнификация; Д — отбелка диоксидом хлора; П — отбелка пероксидом водорода; К — кисловка.

В табл. 14.18 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.

В табл. 14.19 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 ступень отбелки диоксидом хлора (Д).

Таблица 14.18. Передовые схемы отбелки сульфитной целлюлозы для химической переработки в 1980–2000-е гг.

Годы производства	1980-е гг.	1990–2000-е гг.		
Вид отбелки	Отбелка без молекулярного хлора			
Схема отбелки	ГО/О — Г <sub>1</sub> — Г <sub>2</sub> — Д — К ГО/О — Г — П — К	$MXO/\GammaO - \Gamma_1 - \Gamma_2 - Д - K$ $\GammaO/O - O3 - \Pi - K (TCF c 1999 г.)$		

Примечание: принятые сокращения ступеней отбелки:  $\Gamma O/O$  — ступень  $\Gamma O$  — горячее облагораживание и без промывки последующая ступень обработка кислородом — O;  $\Gamma$  — гипохлоритная;  $\mathcal L$  — диоксида хлора;  $\Gamma$  — пероксида водорода;  $\Gamma$  — кисловка;  $\Gamma$  — ступень  $\Gamma$  — механохимическая обработка массы в аппарате типа «Фротапалпер» с последующей без промывки ступенью горячего облагораживания —  $\Gamma O$ ;  $\Gamma O$ 3 — ступень озонирования.

Таблица 14.19. Изменение базовых схем отбелки сульфатной целлюлозы для производства бумаги в промышленно развитых странах в 1980–2000-е гг.

Годы отбелки целлюлозы	1980-е гг.	1990–2000-е гг.		
Вид отбелки	ECF	ECF	TCF	
Схемы отбелки	0 — д — Щ0 — д — ЩП — Д — к	О — Д — ЩОП — Д — ЩП — Д — К О — Д — ЩОП — Д — ЩП — Д — К О-О — Д — Щ — Д — К О-О — Д — Q — ПО — К О — Оз — Щ — Д — К	0 — Q — ПО — Оз — ПО — К П — К	

Примечание: О — кислородно-щелочная обработка в одну ступень и О-О — в две ступени; ЩО — щелочение с добавкой кислорода; П — отбелка пероксидом водорода; ЩП — щелочение с добавкой пероксида водорода; ЩОП — щелочение с добавкой пероксида водорода и кислорода; Q — обработка хелатирующими реагентами; ПО — совместная обработка пероксидом водорода и кислородом под избыточным давлением; Оз — обработка озоном; К — кисловка.

Таблица 14.20. Передовые схемы отбелки сульфатной целлюлозы для химической переработки в 1980–2010-е гг.

Годы отбелки целлюлозы	1980-е гг.	1990–2010-е гг.
Вид отбелки	Отбел	ка с хлором
Схема отбелки кордной целлюлозы для высоко- прочного корда (из хвойной целлюлозы)	X/Д — Щ — Г — Д — Щ — Д — Г — К X — Щ — Г — ХО — ГО — Д — Г — К	нет информации
Схема отбелки вискозной целлюлозы  – из хвойной целлюлозы  – из лиственной целлюлозы	х — Щ — Г — Д — Щ — Д — Г — К	0 — Щ — Г — Д — Щ — Д — Г — К 0-0 — A — (О₃Q) — П

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

# ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Совершенствование производства бумаги и волокнистых полуфабрикатов меняет технологические процессы, создает новые виды продукции, улучшает условия труда, структуру себестоимости продукции, ее рентабельность.

Историю производства бумаги и целлюлозных полуфабрикатов можно условно разделить на циклы: появление технической идеи и локальное производство, зарождение мелкосерийного производства и цикл массового промышленного производства.

Цикл зарождения производства бумаги характеризуется исключительно ручным разделением природных волокон и тряпья на отдельные волокна, ручным отливом суспензии волокон на сетке, последующим отжимом и сушкой. Как результат получение бумаги характеризуется низкой производительностью труда.

Повышение спроса на бумагу стимулировало появление мелкосерийного производства. Поскольку источник волокон — тряпье, поэтому дальнейшее развитие технологии было связано с созданием бумажных мельниц, на которых стали размалывать тряпье, используя силу ветра и потока воды, затем ступу и, наконец, ролл, что и стало основой производства волокон для мелкосерийного производства бумаги. Это повысило производительность труда в производстве волокнистого сырья, тогда как производство бумаги ручным черпанием массы и остальные процессы сохранились без изменения и поэтому с повышением объема производства бумаги требовали увеличения численности работников.

Зарождение промышленного производства связано с ростом потребности в бумаге, что стимулировано создание бумагоделательной машины и получение 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 можно соотнести с основными циклами развития мировой промышленности (табл. 14.21).

Таблица 14.21. Характеристика технологических циклов развития производства бумаги

Период, годы	Цикл	Вид продукции	Основные виды деятельности технологического цикла	Технологические лидеры
1740– 1830	Первый (раннее производство бумаги)	Бумага для печати (книж- ная, газетная) и для письма	Текстильная промышлен- ность, текстильное машино- строение, выплавка чугуна, обработка железа	Великобритания, Франция
1830- 1880	Второй (начало технического развития)	Бумага для печати, письма, рисования, чертежная, упаковочная, обойная, фильтровальная, патронная туалетная, бумажные полотенца и др.	Паровой двигатель, железнодорожное строительство, транспорт, машиностроение, пароходостроение, угольная промышленность, станкоинструментальная промышленность, черная металлургия	Великобритания, Франция, Германия, США
1880– 1930	Третий (начало механизации производства)	Целлюлоза для химической переработки, расширение ассортимента писчепечатных и тароупаковочных видов бумаги и картона, санитарно-гигиенические виды бумаги	Электротехническое, тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, электроэнергетика, неорганическая химия	Германия, США, Великобритания, Франция, Нидерланды

Таблица 14.21 (окончание)

Период, годы	Цикл	Вид продукции	Основные виды деятельности технологического цикла	Технологические лидеры
1930– 1980	Четвертый (совершен- ствование технологий производства)	Расширение ассортимента целлюлозы для химической переработки и писчепечатных «деловых» бумаг, тароупаковочных и специальных видов бумаги для электронной коммуникации, санитарно-гигиенические виды бумаги	Автомобилестроение, цветная металлургия, органическая химия, про- изводство и переработка нефти	США, страны Западной Европы, СССР, Канада, Австралия, Япония
1980– 1990	Пятый (повы- шение каче- ства бумаги и расширение ассортимента бумаги и картона)	Микрокристаллическая целлюлоза, «деловая» бумага (канцелярская, для множительной техники, копийная бумага), тароупаковочная продукция, санитарно-гигиенические виды бумаги	Электронная промышленность, телекоммуникации, роботостроение, производство и переработка газа, информационные услуги	США, ЕС, Япония,

# Первый технологический цикл

Промышленный период производства бумаги начинается с появлением оборудования для облегчения ручного труда: размола тряпья на отдельные волокна и замены ручного отлива бумаги на машинное черпание массы. Однако технический уровень оборудования оставил низкие темпы роста производительности труда и 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 делали обработку поверхности клеем каждого листа. Поэтому проклейка непосредственно в бумажной массе перед отливом, предложенная в 1807 г. изобретателем 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 осталось очень много.

#### Второй технологический цикл

Машинное производство бумаги требовало больше волокнистого сырья, источником которого было только тряпье. Поэтому получение в 1843 г. из древесины Фридрихом Готлобом Келлером древесной массы было событием эпохальным. В 1845 г. было показано, что бумагу можно получить в композиции 60% древесная масса и 40% ветошь. Это значит, что можно производить бумагу при сокращении в два раза расхода дефицитного тряпья на выработку бумаги, заменяя его дешевой древесной массой. В 1852 г. построены первые две промышленные машины для производства древесной массы. Так в середине XIX в. началась эра дефибрерной древесной массы (ДДМ), которая основала производство механической массы. В 1854 г. Оттмар Мергенталер разработал первую работоспособную

наборную машину, которая обеспечила головокружительный рост спроса на газетную бумагу. Это стимулировало поиск новых технологий получения волокна из древесины, и в 1857 г. ученые обнаружили в древесине окисляемую субстанцию, которая получила название лигнин, а в 1863 г. был выдан один из первых патентов на метод кислотной делигнификации, посредством которой древесная ткань распадалась на отдельные волокна (клетки). В этом цикле создавались технические предпосылки создания целлюлознобумажной промышленности.

Таблица 14.22. Основные этапы технологических циклов развития целлюлозно-бумажной промышленности

Цикл	Научно- технический этап	Технико- экономический этап	Экономически- 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 объе- мов производства бумаги за счет увеличения произ- водства волокон из тряпья и механиза- ции 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 набор- ной машины для печати	Увеличение объе- мов производства за счет древесной массы 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 цел-люлозы 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 производ- ства химических волокон, рост потребления писчепечатной бумаги и санитарно- гигиенических видов	Рост численности и квалификации работников, улуч-шение условий труда
Четвертый (совершен- ствование технологий производства)	Совершенствование производства древесной массы и технической целлюлозы, производства макулатурных волокон, бумаги и картона	Увеличение объемов производства бумаги и картона за счет использования целлюлозных, макулатурных волокон и древесной массы	Рост объемов писчепечатных видов продукции, в том числе «деловых» бумаг, санитарногигиенических и тароупаковочных видов продукции	Рост квалифика- ции работников, улучшение усло- вий труда

Таблица 14.22 (окончание)

Цикл	Научно-	Технико-	Экономически-	Социально-
	технический этап	экономический этап	социальный этап	регуляторный этап
Пятый (повышение качества картоно- бумажной продукции и снижение затрат)	Повышение степени автоматизации производства, снижение произ- водственных затрат	Увеличение производства целлюлозы до 1–1,95 млн т/год одним потоком. Снижение затрат на производство бумаги и картона за счет большего использования в композиции минеральных наполнителей, лиственного волокна и макулатурных волокон	Под влиянием ужесточения природоохранного законодательства отказ от неэкологий. Использование для отбелки кислорода, озона, пероксида водорода взамен хлора и гипо-хлорита.	Сокращение численности ра- ботников, переход на автоматическое управление процессом производства и автоматическую диагностику технического состояния оборудования

# Третий технологический цикл

Цикл характеризуется развитием производства древесной массы, технической целлюлозы из древесины кислотным (сульфитным) и щелочным (натронный, сульфатный) 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, или увеличилась в 5 раз по сравнению с началом века. В данном цикле развития большее распространение получил сульфитный способ производства целлюлозы, составляющий 75% мирового производства целлюлозы. Но в 1933 г. построен первый регенерационный котел для сульфатных щелоков, который существенно снизил затраты на производство сульфатной целлюлозы. Поэтому уже к концу 1930-х гг. активно строились сульфатцеллюлозные заводы, особенно в США. Этому способствовало два фактора: практическое исчерпание древесины ели в лесосырьевой базе страны, которая необходима для сульфитной варки, и значительный рост потребности в 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) и лиственных пород (ХТММ), которые позволили частично или полностью заменить сульфитную целлюлозу в композиции некоторых массовых видов бумаги. Сульфитные заводы стали модернизироваться с внедрением системы регенерации сульфитных щелоков, перепрофилироваться на производство механической массы или закрываться.



Дефицит лесных ресурсов и для сокращения затрат на производство бумаги увеличивается, доля макулатуры в общем потреблении волокнистого сырья в 1970-е гг. составила 22%, а в 1980-е — уже больше 30%. Макулатура 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.

С целью снижения затрат и сокращения вредного воздействия на природу стали переходить от использования в производстве низкой концентрации массы — 3% к средней концентрации — 10%, что сократило расход воды с 32 м³/т целлюлозы до 9 м³/т целлюлозы, или в 3,5 раза. Переход на обработку массы средней концентрации позволил эффективно использовать в отбелке целлюлозы молекулярный кислород взамен молекулярного хлора и интенсифицировать процессы отбелки. В 1970 г. в ЮАР на заводе фирмы SAPPI запущена в эксплуатацию первая промышленная установка кислородно-щелочной обработки целлюлозы. Открыта эра технологии отбелки без молекулярного хлора (ЕСF) с прекращением использования молекулярного хлора для отбелки целлюлозы. Появились схемы отбелки, в которых отработанный щелок после КЩО поступает вместе с черным сульфатным щелоком на сжигание в СРК, что в два раза сократило количество загрязнений сульфатцеллюлозного завода, поступающих на очистные сооружения от отбельного цеха.

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

# Пятый технологический цикл

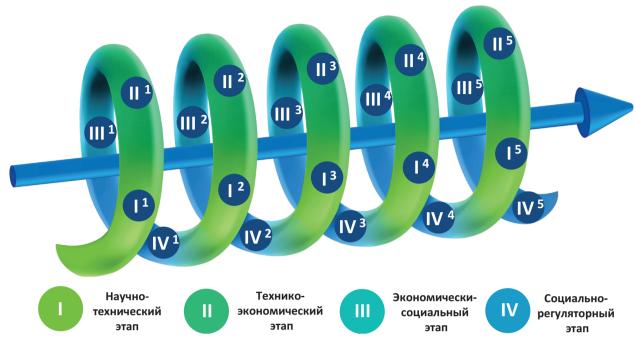
Цикл характеризуется широкой номенклатурой выпускаемых изделий, которая составляет 3500 видов бумаги, картона, бумагоподобных материалов (в Российской Федерации — около 450). Снижение затрат и снижение воздействия на окружающую среду — основные факторы, влияющие на дальнейшее совершенствование технологии 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 отбелки (ЕСF) и «легкая» ЕСF. В схемах отбелки широко используется кислород, озон, перекись водорода взамен молекулярного хлора и гипохлорита натрия, и сброс хлорорганических соединений (АОХ) в водоем сокращается в 3–4 раза, а сброс хлороформа прекращается.

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 бумагоделательные машины производительностью 430 тыс. т бумаги в год, что в 60 раз превышает мощности БДМ, созданных в 1900 г.

#### Эволюция технологий целлюлозно-бумажной промышленности

Необходимо отметить, что каждый цикл обусловлен определенным этапом, который дает новый толчок развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 14.8).

В истории развития отраслей промышленности эффективное использование ресурсов рассматривают как важнейшее условие 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.



- I¹ Появление бумагоделательных машин для механизации отлива бумаги
- II <sup>1</sup> Увеличение объемов производства бумаги
- III 1 Доступность бумаги на рынке
- IV¹ Рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда
- I<sup>2</sup> Появление производства древесной массы.
  Появление наборной машины для печати
- II<sup>2</sup> Увеличение объемов производства бумаги за счет использования древесной массы и увеличения производительности оборудования
- III <sup>2</sup> Резкий спрос на газетную бумагу
- IV<sup>2</sup> Рост численности бумажных мастеров и подмастерья при сохранении тяжелых условий труда
- I³ Начало производства технической целлюлозы.
   Механизация производства бумаги
- II<sup>3</sup> Увеличение объемов производства за счет технической целлюлозы и увеличения производительности бумагоделательного оборудования
- III <sup>3</sup> Рост потребления писчепечатной бумаги и санитарно-гигиенических видов бумаги

- IV<sup>3</sup> Рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда
- Совершенствование производства древесной массы, технической целлюлозы, получения бумаги и картона
- II 4 Увеличение ассортимента продукции и объемов производства за счет увеличения производства технической целлюлозы
- III <sup>4</sup> Рост видов продукции «деловых» бумаг и тароупаковочных видов продукции
- IV<sup>4</sup> Рост квалификации работников, улучшение условий труда
- I 5 Повышение автоматизации производства
- II 5 Увеличение объема производства целлюлозы и картонно-бумажной продукции
- III <sup>5</sup> Исключение использования для отбелки целлюлозы хлора и гипохлорита, отказ от неэкологичных технологий
- IV<sup>5</sup> Сокращение численности работников, переход работников на автоматическое управление процессом производства

Рис. 14.8. Эволюция технологий целлюлозно-бумажной промышленности

# ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

# Технология и оборудование производства механической (древесной) массы

Механической массой называют волокнистые полуфабрикаты высокого выхода 85–98%, вырабатываемые путем механического разделения древесины на волокна при удельном расходе энергии (УРЭ) свыше 1200 кВт·ч/т. Механическую массу подразделяют на два типа.

Первый тип — механической масса с выходом 93–98%, в производстве которой не используют химические реагенты. Называют — «чисто» механическая масса. К этому виду «чисто» механической массы относятся: ДДМ — традиционная дефибрерная древесная масса с выходом 93–98%, получается истиранием древесины при атмосферном давлении на дефибрерных камнях дефибреров различных типов: цепных, прессовых, винтовых и т. д.;

ДМД или ДМД/Д — механическая масса, получается истиранием древесины на дефибрерных камнях под давлением на двухпрессовом дефибрере, и ее разновидности (ДМД-Супер, ДМД-70 и т. д.); РММ или РДМ — рафинерная механическая или рафинерная древесная масса, полуфабрикат, получается при атмосферном давлении за счет механической обработкой щепы в дисковых мельницах; ТММ — термомеханическая масса, получается термогидролитической обработкой (пропаркой) щепы при давлении 100–300 кПа, температуре 100–130° С и размоле на дисковых мельницах под давлением в 1–3 ступени.

Второй тип включает различные виды химико-механической массы. При ее производстве используют щепу, которая перед разделением на волокна в процессе размола может пройти предварительную тепловую и/или химическую обработку, поэтому существует много разновидностей механической древесной массы и их подразделяют на четыре вида:

I — «Легкая» обработка щепы химическими реагентами. XTMM — химико-термомеханическая масса. Получается совместной химической и термогидролитической обработкой обработки щепы химическими реагентами с расходом до 10% к массе абсолютно сухой древесины (а. с. д.) и размолом под давлением в две ступени.

II — «Химически модифицированная масса», включает полуфабрикаты или их отдельные фракции, обработанные химическими реагентами. ТМХМ — термомеханохимическая масса — получают добавкой химикатов после 1-й ступени размола под давлением, в процессе размола или после размола; ХММ — химико-механическая масса из отходов сортирования или длинноволокнистой фракции всех видов механической массы. Технология производства заключается в выделении из отходов сортирования механической массы ее длинноволокнистой фракции, которая обрабатывается сульфитом натрия при температуре 80–100°C и затем размалывается.

III — Высокая степень сульфирования ХММ получается интенсивной обработкой щепы с расходом химических реагентов 10−15% и выше. Размол проводится при атмосферном давлении в две ступени с УРЭ свыше 1000 кВт·ч/т. СХММ — сульфированная химико-механическая масса; БПОВВ — бисульфитный полуфабрикат сверхвысокого выхода; БХММ — бисульфитная химико-механическая масса; СВВ — сульфитная масса высокого выхода, получают интенсивной обработкой щепы бисульфитом; ССВВ — сульфитная масса сверхвысокого выхода; ОВВСМ — сульфитная масса очень высокого выхода.

IV — Бессернистая химико-механическая масса: ЩПММ — щелочная пероксидная механическая масса, которую получают одно-, двух- или трехступенчатой обработкой щепы щелочным раствором пероксида водорода и размолом. Используют щепу древесины лиственных и хвойных пород или их смесь; М процесс отбелки щепы; БХММ — беленая ХММ. Используют древесину лиственных пород. Производства этих масс схожи по технологии и оборудованию с ЩПММ; ХЩ — холодно-щелочной полуфабрикат производят с выходом 85-90% из лиственных пород древесины, пропиткой щепы раствором соды при температуре ниже 100°C и размоле при атмосферном давлении.

Породы древесного сырья для производства механической массы

На рис. 14.9 представлен поперечный разрез древесной ткани и ее разделение на отдельные волокна механическим способом по технологии РММ, ТММ и ХТМ.

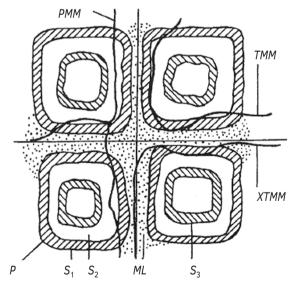


Рис. 14.9. Особенности разделения древесины на волокна при различных методах производства механической массы из щепы: ML — срединная пластинка; P — первичная оболочка;  $S_1$ ,  $S_2$  — наружный и средний слой вторичной оболочки соответственно;  $S_3$  — внутренний слой вторичной оболочки — третичная оболочка

При производстве РММ происходит гидролитическая обработка щепы, лигнин не размягчается, срединная пластинка остается жесткой и волокна при размоле в основном разрушаются в поперечном направлении. Образуется значительное количество мелочи и костры, поэтому РММ имеет самые низкие показатели механической прочности среди всех видов механической массы, полученной из щепы. При производстве ТММ термогидролитическая обработка способствует пластификации лигнина и структура волокон становится менее жесткой. Волокна в древесной ткани основном отделяются друг от друга в продольном направлении по срединной пластинке, а в поперечном направлении разрываются мало. В результате получается значительное количество длинных волокон и небольшое содержание мелочи, что и обеспечивает высокие механические свойства массы. Технология ХТММ предусматривает химико-термогидролитическую обработку щепы, которая обеспечивает еще большее содержание длинных волокон по сравнению с ТММ. ХТММ характеризуется более высокими механическими свойствами массы при незначительном снижении выхода.

Выбор породы древесины и свойства древесного сырья определяются требованиями к качеству бумаги и картона, в композиции которых используется данная механическая масса. Из низкосортного древесного сырья даже современные технологии не в состоянии получить механическую массу высокого качества. Наилучшим сырьем для производства всех видов механической массы, производимой без применения химических реагентов (ДДМ, ТММ) и с химическими реагентами ХТММ, ХММ, является свежесрубленная древесина ели и полученные полуфабрикаты из нее имеют наилучшие сочетания показателей механической прочности и оптических свойств. Лиственные породы, особенно осина, широко применяются для производства ХТММ и ХММ, что важно, поскольку в производство вовлекаются менее ценные и не дефицитные породы древесного сырья. Использование лиственных пород требует применения щелочных реагентов, необходимых для набухания щепы перед размолом, которое облегчает разделение древесной ткани на волокна без значительного их повреждения.

С целью упрощения описания оборудования и технологических схем производства основных механических масс условно разделим их на две группы: первая — древесная масса, вырабатываемая из балансов, — дефибрерная древесная масса, и вторая — древесная масса, вырабатываемая из щепы, — механическая древесная масса.

Подготовка древесного сырья. Поступающее древесное сырье в виде круглого леса проходит окорку и разрезается на слешерном столе на балансы для производства ДДМ или рубится на щепу для производства механической массы (описание процесса окорки балансов и рубки щепы описано в разделе Технология производства технической целлюлозы).

Дефибрерная древесная масса, вырабатываемая из балансов. Механический способ производства древесной массы под атмосферным давлением (ДДМ) проработал в мире более 100 лет и был единственным в производстве механической массы вплоть до 1960-х гг. Недостатком производства ДДМ было низкое качество массы, поэтому появились другие технологии дефибрирования. На рис. 14.10 представлено обычное дефибрирование (ДДМ) под атмосферным давлением (a), получение дефибрерной массы под избыточным давлением (ДМД) (a) и термодефибрирование (a), что обеспечило более высокие механические свойства ДМД по сравнению с обычной ДДМ и дало возможность использовать древесину осины и автоматизировать процесс.

Переход к термодефибрированию (ТДМД) обусловлен необходимостью равномерного распределения температуры в зоне дефибрирования, что снижает УРЭ на дефибрирование и улучшает механические свойства массы.

На рис. 14.11 представлена технологическая схема производства ДМД.

Преимуществом дефибрера, работающего под давлением, является автоматизированная система загрузки баланса. Система автоматически подает балансы на вход в прессовую коробку с регулированием расхода древесины датчиками уровня на конвейере. Процесс формирования партии баланса и подача ее в дефибрер показаны на рис. 14.12.



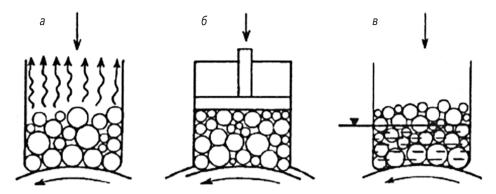


Рис. 14.10. Схемы процессов дефибрирования:

а) обычного (атмосферное давление, локальный нагрев, испарение воды);  $\delta$ ) под давлением (закрытая шахта, избыточное давление 0.2-0.5 Мпа);  $\epsilon$ 0) термодефибрирования (слой воды 20-50 см над зоной дефибрирования)

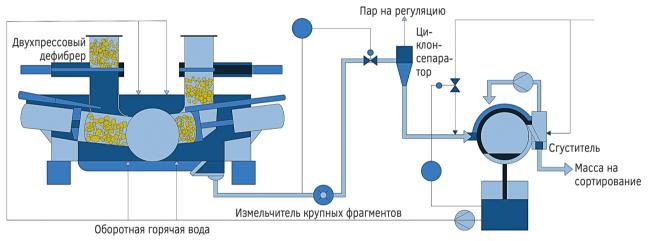


Рис. 14.11. Технологическая схема производства ДМД

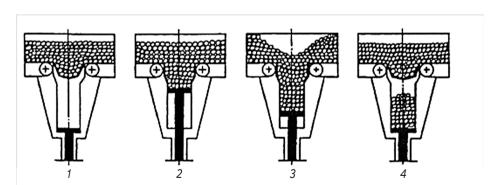


Рис. 14.12. Процесс формирования партии баланса и подача ее в дефибрер:

1 — опускающийся стол находится внизу, захваты закрыты; 2, 3 — стол начинает подниматься, захваты раскрываются, затем стол опускается в положение формирования порции; 4 — стол продолжает опускаться до конечного положения, захваты закрываются, порция готова для подачи

Дефибрирование древесины происходит под давлением 0,2-0,45 МПа, при температуре спрысковой воды 70-120°C и концентрации массы в ванне 1,5%. Температура воды при дефибрировании поддерживается ниже температуры кипения воды, что положительно влияет на качество массы. Из ванны дефибрера (1) на рис. 14.11 масса под давлением поступает в молотковую мельницу (2) для измельчения крупных фрагментов. Далее масса через контрольный клапан выдувки поступает в циклон-сепаратор (3). При прохождении массы через клапан давление понижается до атмосферного, а пар, образующийся при мгновенном вскипании горячей массы, отделяется в циклоне-сепараторе и направляется в систему регенерации тепла. После циклона масса с концентрацией 1,5% направляется в напорный сгуститель (4), в котором при избыточном давлении от массы отделяется горячая вода и концентрация массы повышается до 10-15%. Вода, отделившаяся от при сгущении массы, возвращается на спрыски дефибрера для регулирования концентрации массы в ванне (обеспечивается циркуляция тепла в производственном цикле). После сгущения масса разбавляется до концентрации 1% и направляется на сортирование. На рис. 14.13 представлена принципиальная технологическая схема производства ДМД-70 (температура спрысковой воды 70°C) с сортированием и очисткой массы.

Механическая древесная масса, вырабатываемая из щепы. Повышение качества древесной массы и снижение затрат на ее производство произошло при переходе на размол щепы в дисковых рафинерах. Рассмотрим технологию и принципиальную схему производства ТММ (рис. 14.14), которую получают из предварительно пропаренной щепы при 100-140° С и давлении 0,1-0,3 МПа в течение 0,5-3 минут. Размол осуществляют, как правило, в две ступени. Первую ступень размола проводят при повышенном давлении. На второй ступени давление может быть атмосферным (ТММ) или избыточным (ТММ «Тандем»). Нужно отметить, что бумагообразующие свойства ТММ значительно лучше, но УРЭ выше ДМД. Однако благодаря более высоким механическим свойствам массы она в композиции бумаги замещает значительную часть целлюлозы (табл. 14.25), что обеспечивает экономическую эффективность производства несмотря на повышенный удельный расход электрической энергии. Как показали исследования, при температуре 120–130°С лигнин срединной пластинки настолько размягчается, что волокна могут легко отделяться от лигнинной матрицы при минимальном их повреждении. Однако данная температура является для лигнина критической и лигнин приобретает текучесть. Он обволакивает поверхность волокон, а при охлаждении массы затвердевает с образованием пленки, на разрушение которой при размоле тратится дополнительная энергия. Поэтому температура при получении ТММ поддерживается в диапазоне 105-115°C, что достаточно для размягчения щепы при получении ТММ, пригодной для большинства видов бумажной продукции.

Таблица 14.23. Удельный расход энергии на производство и показатели качества ДДМ, ТДДМ, ДМД и ТММ

Поморотови	Вид механической массы			
Показатели	ДДМ	ТДДМ	ДМД	ТММ
Общий удельный расход энергии, кВт·ч/т	1470	1560	1580	2360
Степень помола, °ШР	65	65	65	69
Прочность на разрыв, Н	29	34	37	38
Разрывная длина, км	2,5	2,9	3,2	3,4
Сопротивление раздиранию, мДж/м	610	740	790	980
Белизна, %	63	63	60	56

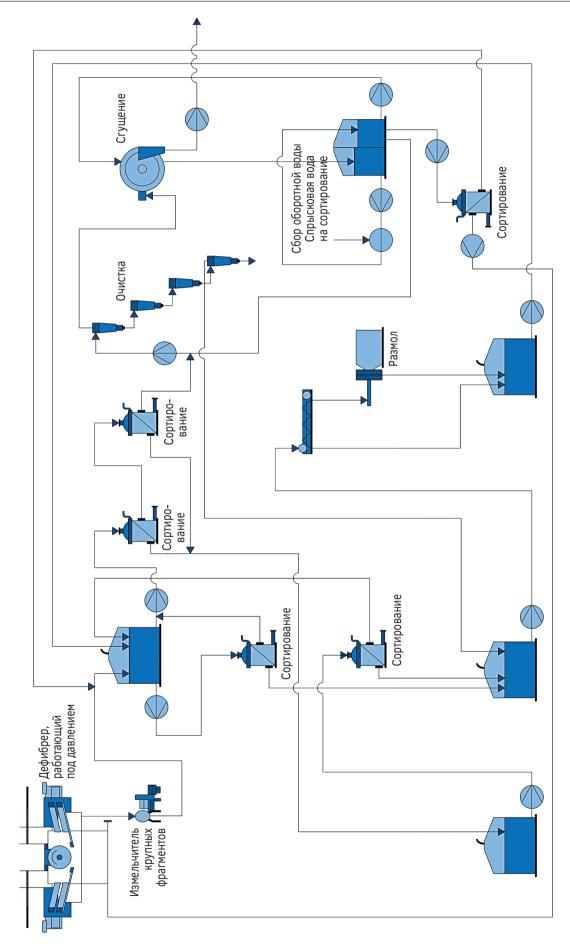
Технология основных способов производства механической массы из щепы представлена в табл. 14.24.

*Таблица 14.24*. Технологические режимы основных способов производства химико-механической массы из щепы хвойных и лиственных пород древесины

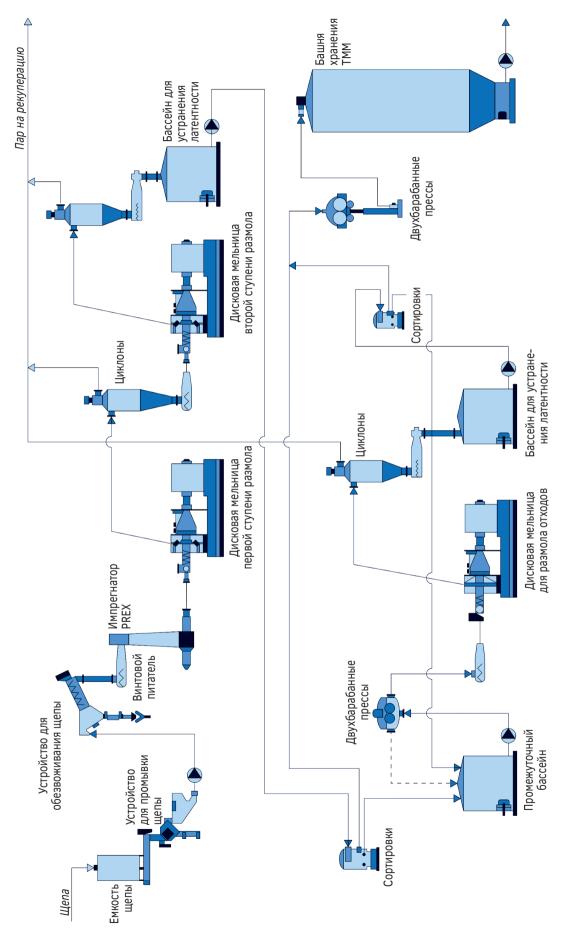
Вид массы	Расход химических реагентов, % к массе а. с. волокна		рН	Температура, °С	Продолжи-	Выход, %
	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	NaOH или Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		C	обработки, мин	
Древесина хвойных пород						
XTMM	2–3	-	9–10	120-140	2–10	94–95
XMM	10–15	-	9–10	160	30	90
СВВ	9	-	4,5	147	240	85
СХММ	12	_	7,5–8,0	140	30	92
TXMM	3–4	_	9	93	30–45	95
ОПКО	7–10	_	9–12	130–140	30	90
		Древесі	ина лиственні	ых пород		
XTMM	0-3	4–6	12–13	120	2–5	88-92
XMM	10–15	_	9–10	130–160	10-60	80-88
ХЩ	0-4	4-6	12–13	30-50	60-120	85–90

*Таблица 14.25.* Содержание ТММ и ХТММ в композиции различных видов бумаги и картона, %

	Вид механической массы				
Вид бумаги и картона	ТММ из древесины	ХТММ из древесины пород			
	хвойных пород	хвойных	лиственных		
Пушонка	_	80–100	_		
Тонкие бумаги	_	20–40	20–40		
Сплошной картон	20–40	20-40	20-40		
Коробочный картон	20–25	25–35	15–20		
Картон для упаковки жидких продуктов	-	20–25	15–20		
Газетная бумага	95–100	80–100	70–80		
Суперкаландрированная бумага (SC)	65–85	70–90	35–50		



Puc. 14.13. Принципиальная технологическая схема производства ДМД-70



Puc. 14.14. Принципиальная технологическая схема установки для производства ТММ

#### Технологии производства технической целлюлозы

#### Строение древесины

Древесная ткань состоит из клеток, связанных между собой срединной пластинкой, содержащей лигнин. Слоистый каркас клетки образуют целлюлозные структуры — фибриллы (P — первичная стенка;  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  — наружный, средний и внутренний слои вторичной клеточной стенки; L — люмен (внутренняя полость), а лигнин, гемицеллюлозы и пектин заполняют промежуток между ними (рис. 14.15).

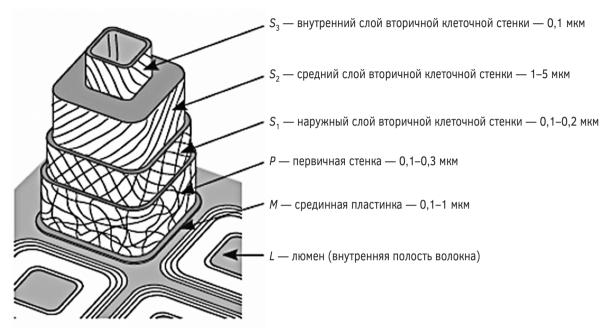


Рис. 14.15. Слоистая структура клеточной стенки

Структура лигнина точно не установлена. В хвойной древесине ели 70% лигнина размещено между волокнами и 30% пронизывают слои клеточной стенки. Лигнин в лиственной древесине в основном находится в межклеточном веществе и в первичных слоях клеточной стенки.

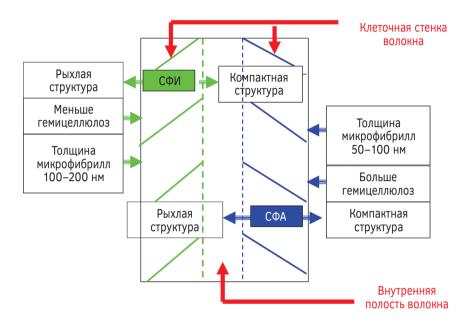
#### Влияние способа варки древесины на целлюлозное волокно

Способ варки оказывает значительное влияние на состояние стенки целлюлозного волокна (рис. 14.16). В процессе *сульфатной* варки после растворения срединной пластинки древесная ткань распадается на отдельные сильно набухшие клетки, структура которых более рыхлая по направлению к люмену. В процессе *сульфитной* варки более рыхлая структура наблюдается со стороны первичной оболочки, чем со стороны люмена. Такое состояние стенки волокна определяет более легкую отбеливаемость сульфитной целлюлозы, чем сульфатной.

#### Влияние строения волокон на качество целлюлозы и бумаги

Длина волокна и толщина стенки древесного волокна оказывают существенное влияние на качество целлюлозы и древесной массы. Так, более длинные волокна дают более прочную целлюлозу и бумагу. Но тонкостенные волокна (осина) имеют свойство сплющиваться с образованием плотного полотна бумаги за счет большой площади межволоконных связей. Волокна с толстой клеточной стенкой (лиственница) мало сжимаются, и незначительная площадь контакта волокон образует пухлое полотно с пониженной прочностью. Благодаря фотодиодам и микропроцессору разработаны электронно-оптические анализаторы волокон,

что позволило в 2000-х гг. расширить фундаментальные основы качества технической целлюлозы и бумаги понятием «грубость волокна», которая определяется массой волокон, составляющих длину 1 м и выраженную в миллиграммах. Поскольку масса волокна равна массе клеточной стенки, соответственно, грубость зависит от толщины клеточной стенки. Это понятие дополнили «извитость волокон», «число (миллион) волокон в 1 г». Меньший диаметр волокна осины и низкая грубость создает плотный, прочный бумажный лист, даже при том, что длина волокна осины короче, чем у остальных древесных пород.



*Рис. 14.16*. Влияние способа варки на состояние стенки волокна технической целлюлозы, полученной по сульфитному и сульфатному способу варки

# Производство сульфатной целлюлозы

В настоящее время 70% производимых волокнистых полуфабрикатов получают сульфатным методом. На рис. 14.17 представлена укрупненная схема производства сульфатной беленой целлюлозы. Рассмотрим отдельные звенья всей производственной цепи.

#### Прием и учет древесного сырья

Круглый лес поступает на площадку с корой, но учет древесины осуществляют в плотной мере и без коры, т. е. после измерения фактического объема, затем расчетным путем определяют объем древесины, который мысленно уложен без коры и промежутков в плотных метрах кубических (пл.  $м^3$ ). Аналогично рассчитывают объем щепы, уложенной без промежутков в пл.  $m^3$ .

Предприятие, производящее, например, 500 тыс. т целлюлозы в год, принимает в течение года 2,5 млн м³ древесного сырья, что в денежном выражении составляет 2,5 млрд рублей. Ежесуточно поступает 7,5 тыс. пл. м³ лесосырья в виде круглого леса и товарной щепы, которые доставляют сухопутным транспортом: автомобильным, железнодорожным и водным — в баржах. В случае поступления лесосырья только автомобильным транспортом в сутки нужно принять 150 автомашин, на которых требуется проверить объем и качество древесного сырья на соответствие сопроводительным документам. С начала 2000-х гг. эти процессы начали автоматизировать с использованием сканирующих устройств и приложений для расчета количества и качества лесосырья, в частности с использованием системы «Фотоскан».

Поступающее лесосырье частично складируют на площадке ~40 га или направляют непосредственно на производство щепы.

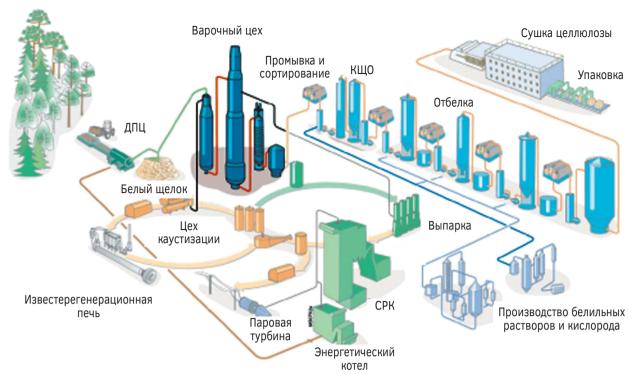


Рис. 14.17. Схема производства сульфатной беленой целлюлозы

#### Производство щепы

Поступившая древесина подвергается окорке (удалению коры с древесного ствола), рубке окоренного бревна в щепу, которая перед подачей в производство сортируется по размерам. Эти технологические операции проводят в древесно-подготовительном цехе (ДПЦ). В качестве примера бревна длиной 5-5,5 м доставляют в ДПЦ автомобильным транспортом и выгружают автопогрузчиками на крытый приемный транспортер длиной 50 м, на котором древесина в зимний период в течение 20 минут размораживается в теплой воде 45°C до температуры поверхности 0°С для удаления снега, минеральных включений и снижения адгезии коры к стволу, чтобы легче прошла окорка. Движение транспортера не вызывает трения бревен между собой, что предохраняет кору от повреждения и проникновения в нее влаги при ее размораживании, чем сохраняет теплотворную способность коры. Бревна поступают в окорочный односекционный барабан диаметром 5,6 м и длиной 36 м, установленный на гидроопорах, с частотой вращения барабана 5-7 об/мин. Масса барабана, заполненного древесиной, — 500 т. В барабане бревна поднимаются по направлению вращения барабана и, достигнув максимальной точки, скатываются вниз, истираясь друг о друга. Для отвода коры из барабана имеются продольные прорези, через которые она вываливается на транспортерную ленту и направляется на дополнительное измельчение в молотковой дробилке и обезвоживание на прессах. Снижение влажности КДО с 57 до 52% повышает теплотворную способность с 1385 до 1791 ккал/кг, или на 20%. Далее кору смешивают с различными древесными отходами и после подсушки сжигают в корьевом котле, например, с производительностью 130 т пара в час и давлением 6 МПа. Окоренные бревна поступают в рубительную машину с горизонтальной подачей бревна и нижней выгрузкой щепы, обеспечивающей требуемую длину щепы и ее сохранность от дробления на «спички». Часть полученной щепы направляют на кучевое хранение, а часть — в отдел сортирования на геликоидальные сортировальные машины. Суммарные потери годной древесины при подготовке щепы из хвойных пород — 2,6% и из лиственных пород — 3,2%. Сортированную щепу направляют ленточным транспортером в варочный котел. Использование данной технологии соответствует НДТ и обеспечивает минимальные потери белой древесины вместе с корой, равномерную по толщине и длине щепу, которые важны при диффузионном характере варочного процесса для равномерной делигнификации каждой щепки и всего столба щепы в варочном котле. Длинная щепа не забивает сита в варочной зоне котла, что стабилизирует процесс варки за счет беспрепятственной циркуляции щелока.

#### Сульфатная варка целлюлозы для бумаги

Цель — 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 оптимальным содержанием остаточного лигнина для последующей менее затратной отбелки целлюлозы. Остаточный лигнин определяется показателем числа Каппа, в нашем случае для хвойной целлюлозы число Каппа 33.

На рис. 14.17 представлен цех для непрерывной варки целлюлозы по технологии COMPACT COOKING™, представляющий систему двух сосудов. Первый сосуд — пропиточный бункер, второй — варочный котел. Щепу по транспортеру подают в пропиточный бункер. Цель пропитки — вытеснить воздух из щепы, чтобы обеспечить в процессе варки беспрепятственную диффузию варочного раствора в объеме щепки. Для пропитки щепы по центральной трубе бункера подают смесь охлажденного белого и черного щелока, который поступает из варочного котла. Пропитку осуществляют в мягких условиях при низкой температуре и атмосферном давлении. Потом для удаления воздуха подают горячий щелок и щепу нагревают до 100° С. Пропаренная и пропитанная щелоком щепа специальным разгрузочным устройством выгружается из бункера и подается в питатель высокого давления, который перемещает щепу из пропиточной камеры (атмосферное давление) во второй сосуд — варочный котел с избыточным давлением. Щепа транспортируется щелоком с помощью насоса щепы. В варочном котле образуется столб щепы, двигающийся по высоте котла со скоростью 12–15 м/час. В котел подают свежий варочный щелок, называемый белым щелоком, поступающим из цеха каустизации и регенерации извести (ЦКРИ). Соотношение древесина — раствор (жидкостной модуль) составляет 1:3, или 3 м<sup>3</sup> варочного щелока на 1 т абсолютно сухой древесины щепы. Расход гидроксида натрия для хвойной древесины (сосна) составляет 19,5–22% к массе абсолютно сухой древесины в единицах NaOH или 15–17% в ед. Na<sub>2</sub>O (ед. Na<sub>2</sub>O = ед. NaOH  $\times$  0,775; ед. NaOH = ед. Na<sub>2</sub>O  $\times$  1,29). Расход сульфида натрия выражают в единицах сульфидности, которая представляет собой отношение массы сульфида натрия к суммарной массе гидроксида и сульфида натрия (расчет ведут в эквивалентных единицах), выраженное в процентах. Обычно сульфидность белого щелока поддерживают на уровне 27-30%. Варку проводят при температуре 150-160°C и давлении 0,7-1,2 МПа в течение 4-5 ч. В варочном котле имеются три зоны: верхняя и нижняя варочные зоны, а также зона диффузионной промывки. В верхнем сепараторе варочного котла поступающая щепа отделяется от транспортирующего щелока. Острый пар подают в верхнюю часть варочного котла, что обеспечивает нагрев щепы до требуемой температуры варки и равномерное распределение температуры во всем объеме варочного котла. Варка протекает по ходу движения столба щепы в котле (прямоточный режим) по всей высоте варочного котла за исключением зоны промывки. Для поддержания требуемой температуры варки и концентрации щелочи по высоте котла в теле корпуса имеются сита, через которые отбирают черный щелок и направляют для нагрева в теплообменники, и уже в нагретый черный щелок, если необходимо, добавляют белый и возвращают в центральную трубу варочного котла, из которой он распределяется по сечению котла от центра к периферии. Таким образом осуществляют циркуляцию щелока, кратность которой составляет 5–10, т. е. весь щелок, сопровождающий движение столба щепы сверху вниз, проходит через подогреватели-теплообменники 5-10 раз. Промывку сваренной массы в котле осуществляют в его нижней части движением промывной жидкости навстречу столбу массы. В качестве промывной жидкости используют фильтрат от промывки сваренной целлюлозы в промывном диффузоре. Целлюлоза выгружается из варочного котла с помощью разгрузочного устройства в промывной диффузор под давлением при концентрации массы 10–12%. Из варочного котла отбирают черный щелок в количестве 10 м<sup>3</sup>/т.

#### Очистка щелока от скипидара

Отобранный из котла черный щелок поступает в расширительный циклон, в котором перепад с избыточного давления до атмосферного образует пары вскипания черного щелока, которые далее поступают в циклон, чтобы отделить из парогазов капли унесенного черного щелока и волокна массы. Очищенные парогазы поступают на двухступенчатую очистку от скипидара в специальных теплообменниках. На первой ступени конденсации образуется ~300 л терпентинного конденсата на 1 т целлюлозы с температурой 60-70°C (наиболее благоприятная температура) и поступает в бак терпентинного конденсата, из которого его откачивают в декантатор. В декантаторе скипидар, благодаря низкой плотности (плотность 0,860 кг/дм3), всплывает над поверхностью подскипидарной воды, и, таким образом, его выделяют в виде скипидара-сырца — товарного продукта в количестве 1,5-2 кг скипидара на 1 т целлюлозы при непрерывном процессе варки, а вода (без содержания скипидара) направляется на линию обработки грязного конденсата или сбрасывается в канализационную систему. Отходящие с первой ступени конденсации неконденсированные газы являются высококонцентрированными дурнопахнущими газами (ВК ДПГ), и их направляют на вторую ступень очистки от скипидара — терпентинный скруббер, орошаемый циркуляционной водой, для дополнительной конденсации оставшегося скипидара и его отделения перед подачей неконденсируемых газов на сжигание. Полученный конденсат отправляют на отделение скипидара от подскипидарной воды. Это соответствует НДТ для обеспечения безопасности всего сульфатцеллюлозного производства, поскольку неотобранный скипидар может накапливаться в углублениях трассировки трубопроводов выпарной установки, а также в канализационной системе. В результате возникает угроза взрыва в процессе технического обслуживания трубопроводов, когда последние опорожняются и в них проникает воздух. Транспортировка ВК ДПГ осуществляется паровым эжектором.

#### Сортирование целлюлозы

Сортирование небеленой целлюлозы осуществляется обычно на сортировках в четыре ступени. Цель сортирования — удалить из массы сучки и непровар (грубое сортирование), которые способны вывести из строя оборудование, применяемое на последующих стадиях тонкого сортирования, и прессовое оборудование для промывки массы. Узелки волокон удаляют на стадии тонкого сортирования. Сортирование производят в центробежных сортировках. Внутри закрытого цилиндрического корпуса установлен вал со специальными лопастями, между ротором и корпусом установлен ситовой барабан с круглой или щелевой перфорацией. Масса поступает в центр сортировки и лопастями отбрасывается на барабан с перфорацией. Годная масса проходит через перфорацию и направляется в поток отсортированного волокна. Крупные частицы, задержанные перфорацией, поступают на следующую ступень сортирования, из которой хорошее волокно направляют на сортировку первой ступени. Отходы сортирования подают для дополнительного отжима до сухости 30% на винтовой пресс и периодически вывозят на склад кородревесных отходов для сжигания в корьевых котлах или при необходимости вновь направляют в варочный котел. Кондиционная целлюлоза от сортировок 1-й ступени подается на двухступенчатую установку из промывных прессов.

#### Промывка целлюлозы

Цель процесса промывки — наиболее полное извлечение растворенных веществ из массы целлюлозы при минимально возможном расходе промывной жидкости. При промывке сваренной целлюлозы и после кислородно-щелочной делигнификации (КЩД) отделяется отработанный щелок, что является первым этапом процесса регенерации щелочи, затраченной



на варку и КЩД. Кроме того, органическая часть растворенных веществ служит топливом для получения тепловой и электрической энергии. Минимальные затраты промывной жидкости, минимальная продолжительность процесса и отбор более концентрированного раствора щелока для последующего выпаривания определяют экономичность процесса промывки и цикла регенерации химикатов. Цель промывки в отбелке — минимизировать перенос загрязняющих веществ с массой на следующую стадию отбелки, что экономит расход отбеливающих реагентов.

Промывной пресс состоит из закрытой ванны, над которой установлены два отжимных барабана с отверстиями, покрытые сеткой. Масса с концентрацией 7% насосом подается в ванну, из которой под давлением проходит между двумя вращающимися в разные стороны барабанами и отжимается между ними до концентрации 30–35%. Отжатый фильтрат, содержащий остатки щелочи и органических веществ, поступает в барабаны и отводится. Далее, в приемном устройстве масса разбавляется до концентрации 7% и подается на отжим в пресс на вторую ступень промывки. Таким образом, отделение остатков черного щелока проводится за счет последовательных операций сгущения / разбавления массы.

# Кислородно-щелочная делигнификация

Цель КЩД — дополнительно снизить степень делигнификации перед отбелкой с 33 единиц Каппа до 21 единицы Каппа, или на 64% для хвойной целлюлозы при использовании двухступенчатой кислородно-щелочной делигнификации. По приблизительной оценке снижение содержания остаточного лигнина на КЩД происходит с 48 кг/т до 18 кг/т, соответственно, 30 кг/т остаточного лигнина из отбельного цеха не попадает на очистные сооружения, а вместе с черным щелоком сжигается в СРК. За счет этого сокращают расход химических реагентов в отбельном цехе. Это техническое решение соответствует НТД.

Промытая масса поступает на двухступенчатую кислородно-щелочную делигнификацию при средней концентрации массы 12% с использованием двух реакторов с восходящим потоком. Перед 1-й ступенью осуществляется смешение целлюлозной массы сначала с окисленным белым щелоком для создания требуемой щелочности, а затем в специальном смесителе с кислородом, который создает турбулентный режим течения суспензии, что обеспечивает диспергирование газообразного кислорода и его однородное распределение в жидкости, окружающей единичное волокно. На первой ступени кислородная делигнификация осуществляется в реакторе при высоком давлении (0,8 МПа) и низкой температуре (85°С) в течение 30 минут. Масса из реактора 1-й ступени через смеситель с паром и кислородом подается в реактор 2-й ступени (щелочные реагенты на 2-ю ступень не подаются). Вторая ступень кислородной делигнификации проводится в реакторе при низком давлении (0,4 МПа) и высокой температуре (100°С) в течение 60 минут. Такое проведение процесса на первой стадии КЩД соответствует лучшему проникновению реагентов внутрь стенки волокна, а вторая ступень — проведению химической реакции в стенке волокна и диффузии продуктов реакции к его поверхности.

Целлюлозную массу выгружают из реактора и направляют в выдувной резервуар, из которого она поступает на промывку. В процессе промывки удаляют отработанную щелочь и органические вещества, растворившиеся на стадии кислородной делигнификации. Промывка после кислородной делигнификации проводится последовательно на двух прессах. Полученный промывной щелок КЩД смешивают с черным варочным щелоком и направляют в систему регенерации химикатов сначала на выпарку, а потом на сжигание в СРК. Таким образом, от ступени КЩД нет сброса щелоков на очистные сооружения, что соответствует НДТ.

#### Отбелка сульфатной целлюлозы

 Диоксид хлора используется для отбелки в виде водного раствора  ${\rm ClO}_2$  с концентрацией 5–7 г/дм³, вполне взрывобезопасен и наиболее устойчив в кислой среде. При реакциях окисления он выделяет 2,5 эквивалента кислорода на 1 моль. Поскольку молекулярная масса  ${\rm ClO}_2$  равна 67,5, а хлора — 71, то в пересчете на активный хлор 1 г  ${\rm ClO}_2$  по своей окислительной способности эквивалентен 2,63 г  ${\rm Cl}_2$  ((2,5\*71)/67,5). Повышенная окислительная способность диоксида хлора способствует образованию в основном низкомолекулярных продуктов реакции и меньшим содержанием атомов хлора в молекуле по сравнению с высокомолекулярными хлорорганическими веществами, образующимися при реакции с хлором. Это существенно влияет на степень их биологической очистки. Так, для фильтратов от отбелки хлором она составляет 30–35%, а для фильтратов от отбелки диоксидом хлора — 75–80%. Поэтому исключение хлора является главной природоохранной задачей отбелки целлюлозы.

Ступень  $olimits_0$  проводится при pH 3,0–3,5 в башне с восходящим потоком и в колонке с нисходящим потоком при температуре 75°C в течение 60 минут. Массу после ступени  $olimits_0$  промывают на прессе. Промытая масса поступает на ступень ЩО, которую проводят при pH 10,5–11,0 в реакторе с восходящим потоком при температуре 75°C. Время пребывания массы на ступени ЩО — 75 минут, затем промытая на прессе масса поступает на ступень  $olimits_1$ . Ступень отбелки  $olimits_1$  проводят при pH 3,5–4,0 в башне с восходящим потоком и в колонке с нисходящим потоком при температуре 75°C в течение 120 минут. Промывку массы проводят на прессе горячей водой. После промывки в массу добавляют 2–3 кг  $olimits_1$  кг  $olimits_2$  кг  $olimits_3$  кг  $olimits_1$  кг  $olimits_2$  кг  $olimits_3$  кг  $olimits_4$  кг ol

#### Сушка, резка и упаковка целлюлозы

Отбеленная целлюлоза жидким потоком поступает на производство бумаги (интегрированное предприятие) или на сушильную машину для получения товарной целлюлозы, предназначенной сторонним потребителям. Сушильная машина состоит из двух частей — мокрой части (сеточная и прессовая) и сушильной части (цилиндровая или воздушная). Целлюлозная суспензия отливается и обезвоживается на сеточном столе до сухости непрерывного целлюлозного полотна 23% и поступает в прессовую часть, в которой полотно отжимается на нескольких прессах и его сухость составляет 50–55%. Далее полотно поступает в сушильную часть, в которой происходит сушка полотна до 10–15% влажности на сушильных цилиндрах или воздухом в сушильном шкафе. После сушки полотно охлаждают на холодильных цилиндрах и подают на продольно-резательный станок для резки на рулоны или на саморезку для разрезания на листы форматом 800 х 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.

#### Система регенерации химикатов сульфатцеллюлозного производства

Регенерация химикатов черного щелока включает следующие производственные процессы: упаривание щелока на выпарной станции до содержания в нем 47–52% абсолютно сухого вещества (а. с. в.); концентрирование черного щелока на концентраторах до 67% а. с. в. и на суперконцентраторах до 85%; сжигание упаренного щелока с получением минерального остатка — плава, растворением которого получают зеленый щелок (раствор

плава); каустизации зеленого щелока гашеной известью для перевода карбоната в гидроксид натрия. Так в производстве сульфатной целлюлозы происходит непрерывный кругооборот химических реагентов.

### Выпаривание черного щелока

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 85%. Технологический процесс на стадии выпарки состоит из следующих операций: подготовка слабого черного щелока (удаление мелкого волокна и сульфатного мыла); выпаривание щелока на вакуум-выпарной станции и концентрирование плотного щелока на супер концентраторах.

### Подготовка слабого черного щелока

Для улавливания волокна из черного щелока используют, например, его фильтрацию в две ступени. На первой ступени фильтруют щелок на напорных фильтрах «Andritz», на второй ступени для дополнительной очистки используют фильтры «Малоне». Содержание волокна не должно превышать 10 мг/дм<sup>3</sup>.

В процессе сульфатной варки щелочные реагенты варочного щелока омыляют содержащиеся в древесине смоляные и жирные кислоты, которые переходят в черный щелок в виде натриевых солей и вместе с нейтральными веществами образуют сульфатное мыло в черном щелоке от варки хвойных и лиственных пород. Удаление сульфатного мыла из щелока осуществляют отстаиванием в емкостях питательного щелока с объемом баков на 16-20 часов работы. За счет разницы в плотности веществ сульфатного мыла 0,95-0,98 г/см3 и питательного щелока 1,075-1,100 г/см<sup>3</sup> (при 15°С) происходит их разделение и сульфатное мыло собирается в верхнем слое. Важно подчеркнуть, что их расслоение происходит благодаря коагуляции частиц мыла (высаливание мыла), происходящей под действием электролитов щелока, коагуляция превращает коллоидный раствор в расслаивающуюся эмульсию. Точка минимальной растворимости сульфатного мыла в черном щелоке находится при содержании остаточной эффективной щелочи 7,0-8,0 г Na<sub>2</sub>O/дм<sup>3</sup>. Съем сульфатного мыла необходим для поддержания оптимальной работы выпарных станций, чтобы на теплопередающих поверхностях не происходили его отложения и, кроме того, сульфатное мыло — ценное сырье для дальнейшей переработки или для использования в качестве собственного высококалорийного топлива. Смоляные кислоты — высокотоксичные вещества, поэтому их отбор должен быть максимально полным, чтобы исключить попадание этих веществ в окружающую среду. Поддержанию производительности СРК при сжигании сухих веществ черного щелока способствует удаление сульфатного мыла, поскольку его теплотворная способность в два раза больше сухих веществ щелока. Таким образом, эффективность сульфатцеллюлозного производства определяется в том числе и более полным съемом веществ сульфатного мыла.

# Выпаривание щелока на вакуум-выпарной станции, концентраторах и суперконцентраторах

Для выпарки сульфатных щелоков применяют вертикальные выпарные аппараты с падающей пленкой. В составе цельносварного аппарата — кипятильник, расположен наверху, под ним кипятильные трубки и внизу — сепаратор. Щелок подают в верхнюю щелоковую камеру, и он стекает пленкой вниз по стенкам кипятильных трубок, 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  $22 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч})$ . Производительность станции определяет размеры выпарных аппаратов,

соотношение объемов кипятильных камер и сепараторов. Питание батареи может происходить по смешанной системе при последовательности работы корпусов IV — VI — VI — III — II — I и параллельной работы концентраторов. Первый корпус батареи и концентраторы обогреваются свежим паром. Основные производственно-технические показатели: удельный расход пара на 1 кг испаренной воды (5 корпусов 0,25-0,28); 6 корпусов — 0,21-0,24; 7 корпусов — 0,18-0,20) на 1 т целлюлозы (жесткая — 1,1-1,7 т; среднежесткая, белимая — 1,2-2 т). Для выпаривания щелока до более высоких концентраций содержания сухих веществ 60-65% применяют концентраторы, обогреваемые свежим паром. Они последними входят в состав батареи (по ходу щелока). Финская фирма «Розенлев» установила первый суперконцентратор с падающей пленкой на заводе «Айтталуото» в 1986 г. Суперконцентратор упаривал исходный щелок после выпарной станции с концентрацией 60–65 до 75–80% сухих веществ. Черный щелок (смесь черного щелока с сульфатом натрия, добавляемым для возмещения потерь щелочи и серы) подают в нижнюю камеру. Центробежным насосом из нижней камеры щелок подают в верхнюю камеру. Помимо этого, часть щелока поднимается вверх по центральной циркуляционной трубе большого сечения благодаря свободной конвекции. Обогрев суперконцентратора осуществляют свежим греющим паром давлением 1 МПа и температурой 180°C. Это обеспечивает температуру кипящего щелока порядка 170° С. Высокая температура снижает вязкость высококонцентрированного щелока, что позволяет его перекачивать центробежным насосом. В настоящее время достигается содержание сухих веществ более 85%.

# Сжигание черного сульфатного щелока

В 1930-е гг. Г. Х. Томлинсон разработал первый в мире содорегенерационный котлоагрегат (СРК), в топке которого в процессе сжигания сгущенного черного щелока регенерируется затраченная на варку щелочь, а сульфат натрия восстанавливается до сульфида натрия и производится тепловая энергия. Первый СРК сжигал 120 т абсолютно сухих веществ в сутки (а. с. в./сут) и послужил широкому применению в мире сульфатного способа варки целлюлозы. Сегодня СРК достигает производительности 8000 т а. с. в./сут (высота топки 86 м, площадь пода 323 м², общая длина труб нагревательных поверхностей в этом СРК 500 км). СРК — самое дорогостоящее оборудование сульфатцеллюлозного завода.

Сульфатный черный щелок рассматривают как влажное, высокозольное и низкокалорийное топливо, поскольку теплотворная способность сухих веществ черного щелока низкая и находится в пределах 15,1-16,0 МДж/кг. Предварительно нагретый концентрированный черный щелок распыляется в топку СРК с помощью нескольких форсунок, в которых струя щелока дробится на капли 2-5 мм. Небольшой размер обеспечит за 1,5 секунды протекание трех стадий сжигания капли: сушка, удаление летучих компонентов и сжигание углерода до попадания углерода в плав. Углерод, попадая в плав, играет важную роль в восстановлении сульфата натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) до сульфида натрия (Na<sub>2</sub>S) по реакции  $Na_2SO_4 + 2C = Na_2S + 2CO_2$ . Сульфид натрия — активный химический реагент, используемый совместно с едким натром (NaOH) в процессе варки. В расплаве на поду котла также происходят реакции термоокисления с образованием карбоната натрия (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и сульфата натрия  $(Na_2SO_4)$  по реакциям  $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$  и  $Na_2S + CO_2 + H_2O = Na_2CO_3 + H_2S$ , а также регенерация серы по реакции  $2SO_2 + O_2 + 2Na_2CO_3 = 2Na_2SO_4 + 2CO_2$ . Для сжигания выделяющихся из огарка горючих газов в топку котла вентилятором подают вторичный и третичный воздух (обозначают уровень подачи по высоте котла). Степень восстановления определяют величиной превращения сульфата натрия в сульфид, которая обычно составляет 90 до 92%. И рассчитывают следующим образом:

Степень восстановления (%) = 100 × 
$$\frac{[Na_2S]}{[Na_2S] + [Na_2SO_4] + [Na_2SO_3] + [Na_2S_2O_3].}$$



Вышеуказанная концентрация химических веществ в квадратных скобках приводится в единицах Na<sub>2</sub>O.

Для восполнения потерь серы и щелочи перед сжиганием в черный щелок дополнительно вводят требуемое количество сульфата натрия.

Было установлено, что при сжигании в топке СРК более концентрированного черного щелока или за счет снижения влажности щелока улучшают условия его горения и уменьшают количество дымовых газов, содержащих диоксид серы и сероводород, увеличивают производительность СРК по сжигаемому щелоку и сокращают потери серы в цикле регенерации. Эта технология отвечает НДТ.

Образующийся на поде топки плав солей, например, массой  $\sim$ 530 кг (из расчета на 1 т целлюлозы) состоит в основном из  $\mathrm{Na_2CO_3}$  (72–73%),  $\mathrm{Na_2S}$  (15–24%),  $\mathrm{Na_2SO_4}$  и других соединений (2–4%). Полученный расплав солей стекает с пода котла через летку, охлаждаемую водой, в бак растворителя плава, в котором его растворяют в слабом белом щелоке из цеха каустизации и получают зеленый щелок. Для разбивания струи плава используют пар. Имеется вытяжная труба для отвода образовавшихся парогазов, которые направляют на сжигание.

#### Каустизация зеленого щелока

Цель каустизации — перевод неактивной формы щелочи  $Na_2CO_3$  в активную NaOH за счет реакции:  $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2NaOH$ .

Начало процесса каустизации — гашение извести в гасителях-классификаторах. Питателем (тарельчатым или роторным) подают дозированное количество негашеной извести с расчетом обеспечить степень каустизации 78-82%, а из баков-накопителей поступает предварительно подогретый до температуры 78-82°C осветленный зеленый щелок при концентрации 105–130 г/дм³ в единицах Na<sub>2</sub>O. В гасителе-классификаторе пребывание извести составляет 20-25 минут, и происходит первичное гашение извести, удаление из реакционной смеси непрореагировавших кусков извести и посторонних минеральных включений. Степень каустизации зеленого щелока из гасителя-классификатора I составляет 60-65%. Процесс каустизации завершается в последовательно установленных трех-четырех каустизаторах в течение 100–120 минут с распределением температуры по корпусам: каустизатор I —  $90-92^{\circ}$  C; II —  $94-96^{\circ}$  C; III —  $96-98^{\circ}$  С. Для поддержания требуемого температурного режима подают острый пар 0,36-0,4 МПа с расходом 0,15 т/т целлюлозы. Рациональное проведение процесса способствует образованию крупнокристаллической взвеси, которая имеет требуемую скорость последующего осаждения каустизационного шлама в осветлителях, и получению белого щелока с минимальным содержанием взвешенных веществ. Из последнего каустизатора известково-щелочная смесь поступает на многоярусные отстойники или вакуум-фильтры. Для ускорения осветления используют добавку полиакриламида или дополнительную фильтрацию через патронные фильтры. После осветления белый щелок с содержанием взвешенных веществ не более 30 мг/куб. дм подают в варочный цех.

#### Регенерация извести

Каустизационный шлам концентрацией 35–40% из последнего промывателя откачивают в баки-накопители, установленные перед вакуум-фильтрами, для промывки шлама. В баках-накопителях с мешалкой для лучшего перемешивания шлама подают воздух. Каустизационный шлам с сухостью 40% (плотность 1,36 г/см³) содержит в 1 м³ 520 кг а. с. СаСО<sub>3</sub> подают на вакуум-фильтр. В зоне фильтрации на сетке происходит отекание жидкости и на сетке образуется шлам осадка. В зоне обезвоживания осадка происходит дальнейшее обезвоживание за счет просасывания воздуха и осадок уплотняется, вследствие чего скорость обезвоживания падает. В зоне промывки осадка применяют горячую воду с расходом 1–2 м³ на 1 т осадка, далее проводят обезвоживание промытого осадка и промытый осадок с остаточной щелочностью не свыше 0,5–0,75% Na<sub>2</sub>O удаляют с сетки сжатым воздухом.

Фильтрат от промывки шлама в виде слабого белого щелока направляют на растворение плава СРК для получения зеленого щелока.

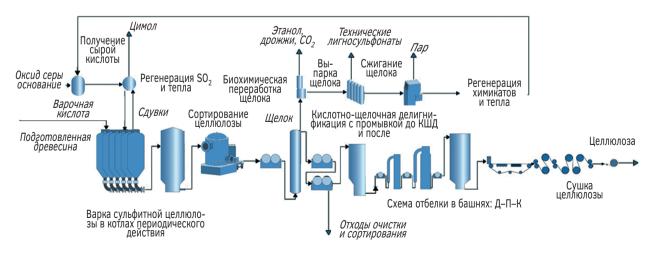
Из баков-накопителей промытый шлам сухостью 75% винтовыми конвейерами подают в известерегенерационную печь (ИРП). Повышение концентрации шлама с 60 до 75% позволяет экономить 35% топлива. Одновременно из бункера свежего известняка дисковым дозатором к шламу добавляют 10–15% свежего известняка от общего количества извести. поступающей в печь для компенсации потерь СаО. Материал подается в холодный конец печи, на противоположном горячем конце печи установлена горелка, которая подогревает печь с расходом условного топлива 35–50 кг/т в. с. ц. Движение материала в печи происходит за счет вращения и уклона, составляющего в градусах и минутах  $1^{\circ}$   $43'-2^{\circ}$ . Поступивший в печь вязкий материал продвигается в зону цепей с помощью направляющих. Цепные завесы выполнены по трехзаходному винту с углом  $60^{\circ}$  относительно оси печи. Подсушенный и разбитый на куски шлам ускоряет движение вперед. На последнем участке цепной завесы происходит гранулирование материала. В зонах нагрева обжига и охлаждения гранулированный материал продвигается только за счет уклона печи. Средняя скорость движения материала в открытой части печи — 0,006-0,012 м/с и зависит от скорости вращения печи. Окончательное охлаждение проводят в известеохладителе. Продолжительность пребывания в печи — 2,5-4 часа. Охлажденную известь скребковым конвейером подают на классификатор, где отделяют гранулы более 30 мм, которые передают на дробление. Подготовленная известь передается в бункеры для использования в гасителе-классификаторе.

#### Производство сульфитной целлюлозы

Сульфитная целлюлоза представляет собой волокнистый материал, полученный при химической обработке древесины водными растворами солей сернистой кислоты ( $H_2SO_3$ ), называемыми сульфитными варочными растворами. Кроме этого, водные растворы солей сернистой кислоты используются в качестве реакционной среды при производстве полуцеллюлозы и древесной массы. Доля сульфитной целлюлозы в общемировом производстве волокнистых полуфабрикатов из растительного сырья в 2000 г. составила всего 5%.

Получение целлюлозы осуществляют обработкой щепы варочной кислотой в котлах при температуре 130–170°С (в зависимости от рН) и давлении 0,6–1,0 МПа и включает операции по регенерации диоксида серы и промывке сваренной целлюлозной массы.

На отечественных предприятиях нет регенерации отработанных варочных сульфитных растворов и проводят их частичную очистку за счет биохимической переработки щелоков с получением этанола, кормовых дрожжей и товарных лигносульфонатов.



Puc. 14.18. Принципиальная схема производства сульфитной целлюлозы



#### Переработка сульфитных щелоков

В сульфитном щелоке содержится около 50% органических веществ, считая от массы исходной древесины. Кроме органических соединений в нем присутствуют неизрасходованная сернистая кислота и ее соли, а также другие сернистые соединения. Групповой состав органических веществ сульфитного щелока приведен в табл. 14.26.

Компоненты	Сульфитная варка		Бисульфитная варка		Моносульфитная варка
	хвойных	лиственных	хвойных	лиственных	лиственных
Лигносульфонаты	55–60	30–37	65–66	55–56	45–49
Углеводы (по РВ)	28-32	38-42	16–17	17–19	12–14
Органические кислоты	11–12	23–26	16–18	24–25	36–38
Экстрактивные вещества	1	2	1	2	3

Таблица 14.26. Состав органических веществ сульфитного щелока, % от СВ

Лигносульфонаты представляют собой соли лигносульфоновых кислот, образующиеся в результате сульфирования лигнина. Они имеют сложное, окончательно не установленное строение; их молекулярная масса лежит в пределах 2000–100000. На одну метоксильную группу приходится 0,5–1,0 сульфогрупп.

Углеводы сульфитного щелока состоят в основном из моносахаридов (табл. 14.27) с небольшим содержанием олигосахаридов. В отработанных щелоках после бисульфитной и моносульфитной варки углеводы находятся в виде олигомеров и полимеров.

Caasimiaa	Сульфитн	ная варка	Бисульфитная	Моносульфитная
Соединение	хвойных	лиственных	варка хвойных	варка лиственных
Манноза	48	3	50	2
Ксилоза	22	80	19	82
Галактоза	10	2	11	5
Глюкоза	9	10	15	4
Арабиноза	6	3	3	5
Рамноза	5	2	2	2

*Таблица 14.27*. Относительный состав моносахаридов сульфитных щелоков (после инверсии), %

В ходе варки образуются летучие кислоты (муравьиная и уксусная кислоты), с преобладанием уксусной кислоты (85–92%). При варке еловой древесины выход летучих кислот составляет 20 кг/т, а при варке березы — около 70 кг/т в расчете на исходную древесину.

Основная масса нелетучих кислот имеют углеводную природу и представлены альдоновыми, уроновыми и углеводсульфоновыми кислотами.

Кроме названных соединений, в щелоке присутствуют карбонильные соединения (фурфурол, 5-метилфурфурол, формальдегид), негативно влияющие на биохимическую утилизацию органических веществ.

#### Подготовка щелока к биохимической переработке

Общая технологическая схема подготовки щелока к биохимической переработке обычно включает следующие операции: 1) фильтрация щелока от целлюлозного волокна; 2) десульфитация и удаление летучих веществ; 3) окисление сульфитов и фенолов; 4) нейтрализация; 5) введение питательных веществ; 6) осветление и охлаждение.

#### Получение технических лигносульфонатов

Технические лигносульфонаты получают концентрированием растворов после стадии получения этанола (сульфитно-спиртовая бражка) или дрожжей (сульфитно-дрожжевая) бражка. Сухой остаток (6–9%) сульфитно-дрожжевой бражки состоит в основном из лигносульфонатов, а в сульфитно-спиртовой бражке может содержаться до 1% пентозных моносахаридов. Содержание сульфогрупп в лигносульфонатах колеблется в интервале 2,0–2,5 мэкв/г.

В зависимости от содержания сухих веществ в конечном продукте технические лигносульфонаты бывают трех видов: жидкие концентраты (КБЖ), содержащие до 50% сухих веществ; твердые концентраты (КБТ), содержащие 76–80% сухих веществ; порошкообразные концентраты (КБП), содержащие 87–90% сухих веществ. Высокие поверхностно-активные, клеящие и вяжущие свойства находят применение в промышленности.

### Получение ванилина

Из технических лигносульфонатов в ряде стран получают ванилин, широко использующийся не только в качестве отдушки в пищевой и парфюмерной промышленности, но также для получения медицинских препаратов и синтеза других соединений.

В природе ванилин встречается в значительных количествах (1,2–2,7%) в плодах тропического растения — ваниль, откуда его выделяют в промышленных масштабах. Однако экономически целесообразнее его получать окислением лигносульфонатов кислородом в щелочной среде (рис. 14.19), и в настоящее время при общем объеме ежегодно производимого ванилина около 6000 т. более 70% вещества получают из лигносульфонатов.

$$CHO$$
 $O_2$ , NaOH
 $OCH_3$ 
 $O_2$ 

Puc. 14.19. Схема получения ванилина из лигносульфонатов

#### СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

# Сравнение технологий целлюлозно-бумажного производства по технологическим циклам

Для сравнения технологий целлюлозно-бумажной промышленности по технологическим циклам необходимо определить показатели, пригодные для сравнения, согласно следующим условиям:

- их актуальность для развития ЦБП на протяжении всех технологических циклов;
- наличие сопоставимых статистических данных за рассматриваемый период.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Для характеристики ЦБП можно использовать критерий ресурсоемкости, экологичности и трудоемкости. В истории развития ЦБП во всех ее циклах перечисленные критерии существенно менялись и не подкреплены надежными статистическими данными. Так, по критерию производительности труда численность работников ЦБП в настоящее время приведена вместе с численностью работников издательской и полиграфической деятельности, что делает невозможным расчет показателя среднеотраслевой производительности труда (отношение объема производства бумаги и картона к численности занятых в отрасли). Для этого критерия использованы имеющиеся в литературе данные по отдельным предприятиям в каждом цикле развития отечественной ЦБП и данные фирмы «Яакко Поури» для четвертого и пятого технологического цикла. Производительность труда в первом технологическом цикле составила  $\sim$ 0,8 т/чел. (1825); на втором  $\sim$ 1,5 т/чел. (1862). В первых циклах развития рост производительности связан с механизацией производства, облегчающей ручной труд при размоле тряпья на отдельные волокна, и заменой ручного отлива бумаги на машинное черпание массы. Однако ручной труд продолжал преобладать над машинным. В третьем цикле производительность труда выросла в 30 раз и составила ~50 т/чел. (1925). Причиной бурного роста стало зарождение производства технической целлюлозы взамен тряпья, что увеличило сырьевую базу бумажного производства. Второй причиной стала механизация бумажного производства за счет установки электрических двигателей и изменения в конструкции бумажных машин, которые с 1900 по 1920 г. повысили производительность в 5 раз с 20 до 100 т/сут. В четвертом цикле технологического развития минимальный и максимальный уровень производительности составил 500-1500 т/чел. Для отечественных предприятий производительность ненамного, но превышает нижний уровень. Повышение производительности труда связано с ростом производства целлюлозы, внедрением новых технологий, расширяющих использование хвойных и лиственных пород древесины для производства волокнистых полуфабрикатов и улучшающих их бумагообразующие свойства. Совершенствуются конструкции бумагоделательного оборудования, в том числе за счет активной реконструкции существующих машин. В частности, для более эффективного обезвоживания бумажного полотна при реконструкции сеточной части используют «верхние» или «гибридные» формующие устройства, устанавливаемые над сеточным столом реконструированной машины. Для повышения эффективности сушки бумажного полотна при высоких скоростях стали применять специальные планки, прикрепляемые к внутренней поверхности сушильных цилиндров. Эти планки служат для разрушения и турбулизации слоя конденсата на этой поверхности, что увеличивает коэффициент теплопередачи. Все мероприятия направлены на увеличение скорости быстроходных (рабочая скорость 900–1200 м/мин) и широких (до 9 м) машин и повышение качества бумаги различного ассортимента с массой 45-60 г/м<sup>2</sup>. В пятом технологическом цикле развития минимальный и максимальный уровень производительности составил 800-2000 т/чел. Скорость быстроходных машин достигла 1500 м/мин при ширине более 10 м. Для отечественных предприятий производительность ненамного, но превышает нижний уровень. Рост производительности труда связан с активным развитием сырьевой базы бумажного производства за счет реализации более совершенных технологий получения волокнистых полуфабрикатов и повышения их качества; использования макулатурного волокна, которое составляет 30% от всех волокон (1990), а в 2003 г. доля макулатурных волокон составила более 50% и к 2018 г. достигла уже более 60%. На производительность труда влияет постоянная реконструкция существующего и появление нового бумагоделательного оборудования. В этом цикле развития конструкция сеточной, прессовой и сушильной части бумагоделательных машин уже позволяет вырабатывать бумажное полотно со скоростью свыше 2000 м/мин, однако практическое освоение таких скоростей сдерживается наличием участков открытой передачи волокна между прессами, особенно между прессовой и сушильной частями бумагоделательной машины, и над этим работают конструкторы.

Внедряются автоматизированные системы оперативно-диспетчерского управления (АСО-ДУ), осуществляющие контроль и управление технологическими процессами, а также диагностику состояния оборудования, оценивающую надежность его работы.

#### Сравнение технологий производства целлюлозных полуфабрикатов

Проведем сравнение основных в настоящее время технологий по показателям ресурсосбережения, энергоэффективности и экологичности, поскольку данные показатели отвечают задачам совершенствования современных технологий в области производства волокнистых полуфабрикатов.

О качестве целлюлозных полуфабрикатов. Скоростным широкоформатным бумагоделательным машинам со скоростью 1500-1800 м/мин необходимо высококачественное сырье — однородное по составу волокна и обладающее однородными высокими физико-механическими характеристиками, чтобы обеспечить рабочую скорость машины. Это требует от производителей целлюлозы внимательного отношения к породному составу и качеству древесного сырья. Четверть века назад качество целлюлозы оценивали только по длине и ширине волокна: чем оно длиннее, тем выше качество целлюлозы. Но современные технологии производства бумажно-картонной продукции ввели новые показатели оценки качества и пригодности целлюлозы, в частности грубость волокна (определяют как отношение массы волокон, составленных по длине на отрезке 1 м, и выражают в мкг/м), индекс армирования, влияющие на расходы электроэнергии при размоле и прочностные характеристики бумажного листа. Поэтому производитель целлюлозы должен учитывать имеющиеся свойства волокна той или иной породы древесины и строить технологию производства так, чтобы максимально сохранить в целлюлозном полуфабрикате ее природные свойства. Так, волокна с тонкой клеточной стенкой (осина, эвкалипт) образуют бумажный лист с большей площадью поперечных связей, обеспечивающих повышенную прочность листа на разрыв и продавливание. Волокна с толстой клеточной стенкой (лиственница, береза) образуют пухлый лист с незначительной площадью контакта, что снижает механические свойства листа.

Все породы, как хвойные, так и лиственные, имеют разные по длине волокна, с разной толщиной клеточной стенки и разной величиной базисной плотности древесины. Начиная с 1970-х гг. в мире стали переходить на варку щепы близких по плотности хвойных пород древесины и отдельно варить древесину березы и отдельно осины.

Породный состав воображаемого леса России разнообразен и состоит из хвойных пород, в составе которых: 32% — лиственница; 20% — сосна; 15% — ель; 10% — кедр; 3% — пихта, и лиственных пород в составе: 13% — береза; 5% — осина; 1% — дуб, 1% — прочие. Именно разнообразие породного состава и сплошные рубки при заготовке леса подтолкнули в 1990-е гг. отечественных производителей использовать на варку смесь из всех поступающих хвойных пород. Кроме того, к хвойным породам на варку стали добавлять 10% лиственных, аргументируя невозможность отделения этого количества лиственных пород от хвойной древесины в процессе заготовки. Помимо снижения качества волокнистого полуфабриката это увеличивает потери годной древесины на подготовку щепы, повышает расход щелочи на варку и увеличивает потери выхода товарной целлюлозы. Поэтому переход на НДТ в производстве сульфатной целлюлозы без изменения данного подхода к использованию лесосырья не даст ожидаемого экономического эффекта, который был получен на зарубежных предприятиях. Рассмотрим данный вопрос на конкретных примерах.

Удельный расход круглого леса на подготовку щепы

Дополнительные потери годной древесины (без учета коры) при существующей технологии подготовки щепы из круглого леса возрастают в 1,5–3 раза при использовании смеси разных древесных пород на стадиях окорки и рубки (табл. 14.28).



Таблица 14.28. Потери годной древесины при подготовке щепы из круглого леса по существующей технологии и НДТ

	Стадия производства волокна	Потери годной древесины, %					
Под	дготовка щепы	Ель	Со- сна + ель	Со- сна + ель + ли- ственница	Береза + осина		
1	Данные промышленных предприятий РФ по старой технологии	4,0	5,8	7,2	9,8		
2	По НДТ (размораживающий транспортер + рубительная машина с горизонтальной подачей бревна и нижней выгрузкой щепы)		2,6*		3,0*		
3	Дополнительные потери древесины по сравнению с НДТ	1,4	3,2	4,6	6,8		

<sup>\*</sup> Величина потерь при использовании древесины одной породы или древесных пород, близких по плотности, чтобы предотвратить дополнительные потери (данные производителей оборудования). В ИТС 1–15 данные потерь круглого леса при подготовке щепы на действующих производствах составляют 9–12%.

Потери годной древесины при подготовке щепы зависят не только от состава оборудования, соответствующего НДТ, но требуется использование однопородного состава круглого леса, имеющего близкую плотность древесины и физические размеры, чтобы минимизировать образование лома и отщепов в процессе окорки. Поэтому для сокращения потерь древесины требуется подготовка щепы по породам близкой базисной плотности. Кроме того, лимитирующая стадия процесса варки — диффузия варочного раствора в капиллярах и порах каждой щепки. Поэтому для снижения потерь волокна при варке целлюлозы за счет непровара важно иметь близкую плотность древесины щепы, что обеспечивает щепа одной древесной породы, поступающей на варку, или композиция щепы древесных пород с близкой базисной плотностью, поступающая в варочный котел. Наилучший результат дает смешение щепы разных пород в определенных соотношениях по объему перед стадией сортирования щепы, на которой произойдет ее перемешивание до однородного состава.

Оценим затраты от потери круглого леса при подготовке щепы для производства 500 тыс. хвойной целлюлозы, на варку которой требуется 2,25 млн пл. м $^3$  щепы. Исходя из величины потерь древесины при подготовке щепы 2,6%, при использовании НТД, круглого леса потребуется 2,31 млн пл. м $^3$  (2,25 × 2,6/100). Примем это количество круглого леса за базовый уровень — обоснованный НДТ. Тогда при потерях 4% нужно дополнительно поставить 30 тыс. пл. м $^3$  круглого леса на сумму 30 млн рублей; при потерях 5,8% дополнительно 70 тыс. пл. м $^3$  на сумму 70 млн рублей; и при потерях 7,2% дополнительно 102 тыс. пл. м $^3$  на сумму 102 млн рублей. Эти дополнительные затраты только по древесно-подготовительному цеху, к которым нужно отнести и дополнительные затраты, которые будут на линии производства целлюлозы.

Удельный расход древесного сырья для получения товарной продукции

Рассмотрим потери волокна в процессе производства товарной беленой целлюлозы из хвойных пород древесины по существующей технологии и НДТ.

Сравнение потерь волокна при отбелке целлюлозы по НДТ на зарубежном предприятии и на отечественном предприятии с КЩО показывает, что потери волокна на нашем

предприятии на 1% выше, и это обусловлено использованием смеси древесных пород разной базисной плотности. При использовании существующей технологии отбелки с хлором потери волокна выше на 2,5%. Оценим потери волокна при производстве 500 тыс. хвойной целлюлозы. Исходя из величины коэффициента выхода товарной целлюлозы 0,9280 при использовании НТД (см. табл. 14.29), потребуется сварить 539 тыс. т целлюлозы (500 000/0,9280). Примем это количество за базовый уровень — обоснованный НДТ. Тогда для предприятия с коэффициентом выхода 0,9184 нужно дополнительно сварить 5000 т целлюлозы, для чего потребуется 22 500 пл. м³ щепы на сумму 33,7 млн рублей; для предприятия с коэффициентом выхода 0,9040 требуется дополнительно сварить 14 000 т целлюлозы, для чего потребуется 63 000 пл. м³ щепы на сумму 94,5 млн рублей. В данном расчете учтены затраты только на древесное сырье и не учтены затраты на процесс варки целлюлозы (пар, электричество, потери от недополученной продукции). Похожие данные получаются при расчете потерь при производстве товарной целлюлозы из смеси пород имеет неоднородные свойства волокон и поэтому стоит на рынке дешевле.

Таблица 14.29. Проценты потерь волокна по стадиям производства сульфатной беленой целлюлозы из хвойной древесины по НДТ и на предприятиях РФ с КЩО (технология ЕСF) и при отбелке с хлором

Стадии производства линии волокна	Предприятие РФ без КЩО	Предприятие РФ с КЩО	Предприятие по НДТ, данные фирмы «Яакко Поури»	
Отходы небеленой целлюлозы				
– промои волокна, %	0,5	0,5		
– сучки и непровар, %	1,4	1.5	1,7	
– отходы сортирования, %	0,4	1,5		
Потери при отбелке, %	7,2	6,1	5,5 (КЩО — 2,5 + 3 — отбелка)	
Потери при отчистке беленой целлюлозы, %	0,3	0,2	0,1	
Коэффициент выхода товарной целлюлозы	0,9040	0,9184	0,9280	

# Удельный расход свежей воды

В табл. 14.30 представлены величины удельного расхода свежей воды на одном предприятии Российской Федерации по технологическим участкам, которые сравниваются с данными по минимальному расходу воды на лучших зарубежных предприятиях в течение трех периодов.

Основное несоответствие в удельном расходе воды на отечественном предприятии связано с техническим уровнем установленного технологического оборудования на всех участках производственной линии и нерешенными вопросами очистки и использования на производственные цели конденсатов выпарных станций взамен свежей воды. Как показывает мировая практика, на решение данной задачи на действующем предприятии требуется несколько десятилетий, в течение которых происходит планомерная техническая модернизация всего производства. Расход свежей воды — маркерный показатель (ИТС 1–15) уровня технического перевооружения действующего предприятия. При строительстве новых заводов удельный расход свежей воды уже заложен в соответствии с НДТ.

Таблица 14.30. Изменение расхода свежей воды на передовых предприятиях беленой сульфатной целлюлозы с 1975 по 1995 г. и на предприятии РФ с 2000 по 2015 г.

Произголого голи й мисстен.		бота пере предприя		Удельный расход свежей воды на 1 т в. с. товарной беленой целлюлозы на предприятии РФ			
Производственный участок	1975– 1985 гг.	1985– 1995 гг.	1995 — по настоящее время	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.
Варочный	1,1	1,0	0,2	1,3	1,1	1,1	1,1
Промывка и сортирование	4,2	1,8	0,2	32,7	7,7	7	6,4
Отбельный цех	55	31	10	48,1	33,8	33,8	29,0
Приготовление химикатов	0,5	0,8	0,2	4,7	3,1	2,5	1,0
Расход на целлюлозном заводе	60,8	34,6	10,6	86,8	45,7	44,4	37,5
Выпарная станция	0,7	0,6	0,2	81,9	43,7	40,8	34,4
Регенерация	2,1	0,6	0,2	14,9	12,9	3,6	3,6
Каустизация	2,6	1,3	0,3	4,5	3,3	2,3	2,3
Энергетический котел	4,9	0,9	0,5	8,7	8,7	1,2	1,2
На регенерацию и получение энергии	10,3	3,4	1,2	110,0	68,6	47,9	41,5
Сушка целлюлозы	6,5	6,2	0,4	26,5	26,5	28,6	7,2
Суммарные затраты, м³/т товарной в. с. ц.	77,6	44,2	12,2	223,3	140,8	120,9	86,2*

#### Примечания:

На производстве количество поступающей свежей воды принимается равным количеству сбрасываемых вод.

#### Удельный расход электрической энергии

По данным предприятий, удельный расход электрической энергии на 1 т товарной продукции из хвойной и лиственной древесины находится в пределах: для лиственных пород минимальный —  $650 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$  и максимальный —  $800 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ , и для хвойной —  $750 \text{ и } 900 \text{ со-ответственно (уровни расхода по данным фирмы «Яакко Поури»). В ИТС 1–15 (табл. <math>66$ ) указан расход, соответствующий НТД, равный  $712 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$  товарной целлюлозы без указания вида перерабатываемой древесины и диапазона возможных значений.

#### Удельный расход тепловой энергии в паре

В табл. 14.31 приведены данные по удельному расходу пара на производство сульфатной целлюлозы по технологии ЕСF с применением КЩО для предприятий Северной Америки и Европы в 1980-е и 1990-е гг. отдельно для лиственной и хвойной целлюлозы, а также данные справочника ИТС 1–15 за 2015 г. без указания породы древесины (табл. Б4). Эти сведения позволяют отследить изменение удельного расхода пара за последние 35 лет. Для сравнения приведены данные отечественных предприятий для отбелки с хлором и после перехода на КЩД. Показано, что при переходе на отбелку с КЩО расход пара в отбельном цехе на обоих предприятиях сократился в 4–5 раз. Суммарный расход пара 2,99 Гкал/т товарной целлюлозы для предприятия лиственной целлюлозы соответствует требованиям энергоэффективного предприятия по ИТС 1–15 (табл. Б4), тогда как для хвойного предприятия расход 3,82 Гкал/т не соответствует. Действующим предприятиям потребуется постоянная и поэтапная модернизация всех звеньев производственной цепи, в том числе для использования конденсатов выпарных станций, чтобы добиться энергоэффективного производства.

<sup>\*</sup> НДТ в ИТС 1–15, Приложение Д, табл. Д1 — маркерный показатель для производства сульфатной беленой целлюлозы —  $25-50 \text{ м}^3/\text{т}$ .

*Таблица 14.31*. Удельный расход пара, в пересчете на Гкал/т товарной целлюлозы

	Производство щепы	Варка, промывка, сортирование	ΖШЯ	Отбелка	Сушка	Приготовление химикатов	Каустизация, обжиг извести	Выпарка щелоков, отпарка конденсатов	Регенерация химикатов	Остальное	Всего
			Лис	ственна	ая цел.	люлоза	l				
Северная Америка, 1980-е гг.	0,09	0,46	0,07	0,81	0,98	0,04	0	0,9	0,25	нет	3,60
Европа, 1990-е гг.	0,1	0,53	0	0,16	0,71	0,07	0,07	0,72	0,23	нет	2,59
Предприятие РФ без КЩО	нет	0,61	нет	1,053	1,16	0,008	0,07	1,7	'1	нет	4,61
Предприятие РФ с КЩО	0,05	0,61	0,07	0,25	0,86	0,007	0,08	0,79	0,27	нет	2,99
			Xı	войная	целлн	олоза					
Северная Америка, 1990-е гг.	0	0,79	0,04	0,14	1,07	0,09	0	1,29	0,62	нет	4,04
Европа, 1990-е гг.	0,05	0,76	0,05	0,1	0,74	0,07	0	1,0	0,38	нет	3,15
Предприятие РФ до КЩО	0,09	0,87	нет	0,69	1,0	0,16	0,008	0,89	1,02	нет	4,72
Предприятие РФ после КЩО	0,06	0,79	0,05	0,12	1,0	0,1	0,008	1,2	0,49	нет	3,82
Без разделения на породы древесины (ИТС 1-15)											
2015 г. ИТС 1–15, табл. Б4	0	0,38- 0,48	0,05- 0,09	0,36- 0,48	0,52- 0,62	нет	нет	0,95– 1,07	нет	0,36- 0,48	2,62- 3,22

#### Повышение энергоэффективности периодической сульфатной варки

Одним из направлений совершенствования периодической сульфатной варки является сокращение удельного расхода тепловой энергии в паре до уровня, соответствующего непрерывному способу варки. Основное техническое решение — использование тепла горячего варочного щелока, вытесненного из котла по окончании варки, для нагрева белого щелока перед поступлением в варочный котел следующего варочного цикла. Это существенно сокращает затраты и для предприятия производительностью 1000 т/сут и дает экономию 2,5–5 млн долларов в год. В табл. 14.32 приведены сравнительные данные энергозатрат в различных вариантах периодической сульфатной варки (в Гкал).

Кроме энергетических преимуществ, данная технология периодической варки обеспечивает промывку целлюлозы в котле, холодную выгрузку массы, имеющую более высокие показатели механической прочности целлюлозы, и сокращает образование дурнопахнущих газов. Существуют несколько модификаций данной периодической варки, представленных в табл. 14.33.

*Таблица 14.32.* Сравнительные данные энергозатрат в различных вариантах периодической сульфатной варки, Гкал

Технологические	Обычная перио	дическая варка	Периодическая варка с холодной выгрузкой		
процессы	с прямым обогревом	с непрямым обогревом	с прямым обогревом	с непрямым обогревом	
Варка	1,12	0,98	0,62	0,57	
Выпарка	1,12	0,88	1,0	0,91	
ИТОГО	2,24	1,86	1,62	1,48	

Таблица 14.33. Сравнение технологических операций различных видов энергосберегающих варок RDH, SuperBatch, EnerBatch с традиционной варкой

Bapon North, SuperBateri, EnerBateri e традиционной Варкой							
Технологические операции	Обычная варка	RDH	SuperBatch	EnerBatch			
Загрузка котла щепой	Уплотнение паром	Пропарка, уплотнение щепы разбавленным черным щелоком 15–30 мин	Уплотнение щепы паром, уплотнение щепы черным теплым щелоком	Уплотнение щепы паром			
Пропитка	_	Теплым черным щелоком	Теплым черным щелоком, затем горячим черным щелоком	Смесью белого и пропиточного щелока			
Закачка варочных растворов	Белый и чер- ный щелок (80°C)	Горячий белый щелок (170°С), горячий черный щелок (160°С)	Горячий белый щелок (165°С), горячий черный щелок (160°С)	Горячий белый щелок (155°С), горячий черный щелок (170°С)			
Температура в кот- ле после закачки щелоков, °С	60-80	157–163	145–155	155–165			
Нагрев котла до температуры варки	Прямой и непрямой нагрев	Быстрый непрямой нагрев	Быстрый непрямой нагрев	Быстрый прямой и непрямой нагрев			
Конечная темпе- ратура варки, °С	165–172	170–175	170–175	155–170			
Стоянка на конечной температуре, мин	60–120	75–90	60–120	20–100			
Вытеснение отработанного горячего черного щелока	-	Промывным филь- тратом снизу вверх, 25–30 мин	Промывным фильтратом снизу вверх, 25–30 мин	Промывным фильт- ратом сверху вниз, 25 мин			
Выгрузка массы	Выдувка	Выдувка воздухом или вымывка насо- сом при температуре ниже 100° С	Вымывка с откач- кой насосом при температуре ниже 100° С	Вымывка с откачкой насосом при темпе- ратуре ниже 100° С			
Оборот котла, мин	240-390	150-240	180-240	120-240			
Использование те- пла отработанного черного щелока	-	На пропитку щепы, варку, нагрев белого щелока	На пропитку щепы, варку, нагрев белого щелока	На пропитку щепы, варку, нагрев белого щелока			

# Сравнение сульфитной варки целлюлозы

Отечественные предприятия требуют модернизации. Рассмотрим практику модернизации крупнейшего в мире завода по производству бисульфитной целлюлозы на магниевом основании фирмы «Стура» в г. Нюмелла (Швеция). Фирма производит 265 тыс. т/год целлюлозы; на этом заводе с конца 1987 г. применяют метод «быстрого нагрева котла и быстрого вытеснения горячего щелока с последующей холодной выдувкой», разработанный компанией «Билойт» (США), что сократило время варки на 30 минут. После окончания варки отработанный раствор с температурой 130-155° С вытесняют в аккумулятор горячего щелока, но сначала он проходит теплообменник, где нагревает новый варочный раствор. Часть горячего щелока подают в котел на начало варки, а остальную часть упаривают в выпарной установке до 65% а. с. в. В котел после вытеснения горячего отработанного раствора подают промывной фильтрат и выдувают массу с температурой 90°С. Упаренный щелок сжигают и из дымовых газов в электрофильтрах выделяют оксид магния. Затем дымовые газы используют для сушки коры, которую сжигают в энергетических котлах. Новый метод варки дал значительную экономию пара, повысилась степень регенерации диоксида серы за счет промывки в котле, поскольку целлюлоза промывается лучше. Эффективность промывки небеленой целлюлозы достигает 98%. Стоки предприятия проходят биологическую очистку. Если в 1970 г. завод производил 115 тыс. т целлюлозы и расходовал 30 тыс. т мазута, то в конце 1980-х гг. при увеличении производства в 2,3 раза до 265 тыс. т расход мазута стал в 10 раз меньше, 2-3 тыс. т, благодаря внедрению энергосберегающих технических решений. Нужно отметить, что два потока производства целлюлозы обслуживают 30 рабочих.

Этот пример показывает значительно более низкий технический уровень отечественных заводов, 2/3 которых построены более 50 лет назад и не подвергались необходимой реконструкции. Это привело к тому, что из 100% сульфитных щелоков только 12% сжигаются и на подавляющем большинстве предприятий промывка целлюлозы осуществляется по отсталой технологии в сцежах с крайне низкой степенью отбора щелоков чуть более 60%. Отсутствует или недостаточна мощность выпарных установок для получения жидких лигносульфонатов, отсутствует их сбыт в полном объеме. Очистные сооружения отсутствуют на 19 предприятиях. Перечисленные недостатки — основные причины загрязнения водоемов, низкой энергоэффективности и высоких производственных затрат на отечественных предприятиях. Кроме того, из представленных данных ясно, что для окупаемости проекта реконструкции по аналогии с предприятием в Швеции потребовалось увеличить производственную мощность завода на 150 тыс. т — до 265 тыс. т целлюлозы в год. Это подтверждают и расчеты отечественных экономистов, которые показывают, что превышение суммы прибыли от реализации товарной продукции над себестоимостью производства достигается лишь при объеме выпуска целлюлозы более 230-250 тыс. т/год. Если рентабельность производства к себестоимости продукции составит 30% и рентабельность к фондам — 12%, то в этом случае минимальный срок окупаемости капитальных вложений — девять лет. Поэтому ясно, что для 50% отечественных сульфитцеллюлозных предприятий со средней мощностью 30 тыс. т/год и менее экономическая и экологическая ситуация заставят закрыть производство.

#### Сравнение технологии отбелки целлюлозы

В 1980-е гг. сбросы загрязнений от отбелки сульфатной целлюлозы составили 80% от общего поступления загрязнений завода. Рассмотрим подробнее реализацию снижения сброса загрязнений сульфатцеллюлозного завода. Сделаем упрощение, что в процессе отбелки целлюлозы нас интересует только количественное изменение лигнина в древесине и целлюлозе. Как видно из табл. 14.34, в процессе отбелки из 1 т небеленой лиственной целлюлозы требуется удалить 20–26 кг остаточного лигнина, из небеленой целлюлозы хвойных пород — 38–48 кг. Таким образом, основная задача технологии отбелки — удалить



2 кг

20-26 кг

2 кг

38-48 кг

это количество лигнина с минимальными производственными издержками и минимальными сбросами загрязняющих веществ в окружающую среду.

22. 4						
	Лиственная	Хвойная				
	целлюлоза	целлюлоза				
Содержание лигнина в 1 тонне целлюлозы после варки	22–28 кг	40–50 кг				

Содержание лигнина в 1 тонне беленой целлюлозы

Количество удаленного лигнина

*Таблица 14.34*. Изменение содержания остаточного лигнина при отбелке сульфатной лиственной и хвойной целлюлозы (расчетные данные)

Рассмотрим варианты развития схем отбелки сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины. Из табл. 14.34 видно, что при отбелке целлюлозы из хвойных пород древесины лигнина должно удаляться почти в два раза больше, чем из целлюлозы лиственных пород, и, следовательно, технология делигнификации будет различной. Нужно отметить, что изменение количества АОХ в табл. 14.35, 14.36 носит сугубо экспертный характер на основе принятого упрощения в табл. 14.34 и служит только для демонстрации механизма совершенствования методов отбелки целлюлозы.

В табл. 14.35 представлены четыре схемы отбелки сульфатной хвойной целлюлозы: № 1 — с хлором; № 2 — со 100%-ным замещением хлора на диоксид хлора — бесхлорная отбелка, № 3 — с КЩО — отбелка ECF (Elementary Chlorine Free) и № 4 — с КЩО и ступенью озона (Оз) — отбелка «легкая» (ECF). Как указано в табл. 14.35, общее количество растворенного лигнина во всех схемах № 1-4 одинаково и составляет 48 кг/т, или 100% содержащегося в целлюлозе остаточного лигнина после варки. От схемы № 1 и № 2 все 100% растворенного лигнина попадают на очистные сооружения. Однако в стоках схемы № 1 содержание хлорорганических соединений составляет 9,6 кг/т целлюлозы, что в два раза больше, чем в схеме № 2 (4,8 кг/т). Это связано с разным механизмом протекания реакций лигнина с хлором и диоксидом хлора. Реакция хлорирования с лигнином преимущественно идет по механизму замещения атомов водорода атомами хлора, а окислительных реакций, деструктирующих макромолекулы лигнина, протекает немного. В результате в основном образуются высокомолекулярные хлорорганические соединения лигнина, что определяет их высокую токсичность и низкую степень удаления при биологической очистке порядка 30%. Соответственно, после очистных сооружений 6,7 кг хлорорганических соединений вместе с очищенной водой попадают в водоемы. В отличие от хлора, реакции лигнина с диоксидом хлора носят преимущественно окислительный характер, а реакций замещения атомов водорода в лигнине на хлор протекает меньше и образуются низкомолекулярные продукты с меньшим содержанием хлорорганических соединений. Благодаря этому токсичность стока от бесхлорной схемы № 2 существенно ниже, поэтому степень их очистки порядка 80% и в окружающие водоемы сбрасывают 1 кг АОХ. В 1980-е гг. такую технологию рассматривали как кратковременную меру для снижения сброса АОХ, поскольку она не обеспечивает сжигание загрязнений вместе с черным щелоком в СРК и поэтому не отвечает принципам технологии ECF.

В схеме № 3 использование кислородно-щелочной делигнификации (КЩД) способствует растворению и сжиганию в СРК 50% остаточного лигнина (24 кг/т). Следовательно, после КЩД в отбельном цехе осталось удалить только половину остаточного лигнина. Это сокращает расход диоксида хлора на отбелку и поступление АОХ на очистку в 2 раза (2,4 кг/т) по сравнению со схемой № 2. Кроме того, меньшее содержание АОХ делает меньшей токсичность стока, что повышает степень очистки до 90%, и сброс АОХ в водоем с очищенными водами составляет 0,24 кг/т. Такая технология отбелки с КЩО отвечает принципам отбелки ЕСГ, однако сброс АОХ выше рекомендованного ХЕЛКОМ 0,2 кг/т. Поэтому КЩО для хвойной

целлюлозы проводят не в одну, а в две ступени, и в этом случае сброс AOX с очищенными стоками ниже 0,2 кг/т, что соответствует требованиям XEЛКОМ.

Позднее разработана технология «легкой» ЕСГ, которая показана в схеме № 4. Ее отличие в том, что к КЩО с двумя ступенями обработки кислородом добавлена еще одна делигнифицирующая ступень — ступень озонирования. Поэтому в СРК поступает от отбелки 36 кг/т лигнина и для последующей отбелки остается только 12 кг/т, или 25% от содержания лигнина в целлюлозе после варки. Это позволяет дополнительно снизить расход диоксида хлора и достичь количества АОХ на сбросе в окружающие водоемы 0,12 кг/т.

Аналогичное построение технологических схем и для отбелки лиственной целлюлозы (см. табл. 14.33). Благодаря меньшему содержанию остаточного лигнина для отбелки лиственной целлюлозы применяют КЩО в одну ступень.

На рубеже 80-х и 90-х гг. прошлого столетия дискутировалась возможность использования хлора после кислородно-щелочной делигнификации. Было показано, что использование хлора после КЩО в 13 раз увеличивает содержание АОХ на 1 т в. с. ц. по сравнению с диоксидом хлора (с 0,3 кг/т в. с. ц. до 3,9 кг/т при отбелке хвойной и с 0,10 до 1,3 кг/т при отбелке лиственной целлюлозы). Было также установлено, что на ступенях хлорирования (X), щелочения (Щ) и гипохлоритной отбелки (Г) образуется хлороформ в количестве до 1200 г/т в. с. ц. Там же отмечалось, в частности, что на ступени хлорирования при температуре  $25^{\circ}$ C образуется  $\sim$ 20 г/т в. с. ц. хлороформа, а при повышении температуры до  $60^{\circ}$ C образуется более 300 г/т в. с. ц. хлороформа. Поэтому полное исключение молекулярного хлора и гипохлорита из схем отбелки является первостепенной задачей. Как уже было показано выше, технология по схеме № 2 (табл. 14.32) не отвечает требованиям НДТ по Рекомендации ХЕЛКОМ, поскольку загрязненные фильтраты отбелки содержат АОХ 0,5 кг/т. В ИТС 1-15 (табл. Д2) технология отбелки для действующих предприятий соответствует НДТ, если сброс АОХ не более 0,40 кг/т в.с.ц. Таким образом, для действующих предприятий сброс АОХ должен укладываться в этот интервал без указания требования на использование фильтрата в системе регенерации химикатов. Однако реализация подобной технологии консервирует технологическую отсталость производства, поскольку требует капитальных затрат на увеличение производительности установки по получению диоксида хлора и высоких производственных затрат для схемы отбелки с повышенным в три раза расходом дорогого реагента — диоксида хлора вместо дешевого реагента кислорода.

В табл. 14.37 представлена экспертная оценка содержания загрязняющих веществ в сточных водах сульфатцеллюлозных производств. Нужно отметить (табл. 14.37), что удельный уровень нагрузки загрязнений от производства сульфатной целлюлозы по всем загрязняющим веществам на отечественных предприятиях, работающих с хлором и гипохлоритом, после очистки выше, а ведь на очистку стоков предприятия тратят значительные средства. Поэтому применение технологии отбелки целлюлозы без использования молекулярного хлора (ЕСГ), при которой стоки от обработки кислородом (КЩО) и озоном (Оз), содержащие растворенный лигнин, вместе с черным щелоком сжигают в СРК, — правильное решение. Сокращение остаточного лигнина в целлюлозе кислородсодержащими реагентами снижает расход диоксида хлора на последующую отбелку. Это сокращает количество хлорсодержащих соединений в стоках и возможные платы предприятия за вред окружающей среде по сравнению с существующими производствами с технологией середины 80-х гг. прошлого века.

Смена технологической платформы и переход на НДТ — это не только улучшение экологической безопасности производства, но и снижение его издержек. Себестоимость продукции снижается при переходе от хлорной отбелки к отбелке с кислородно-щелочной обработкой. (В ИТС1–15 указывается противоположное.) В табл. 14.38 представлены экспертные удельные расходы химикатов, древесного сырья, энергоресурсов в процессе хлорной отбелки сульфатной лиственной целлюлозы по схеме  $N^{\circ}$  5 «Х/Д — Щ —  $\Gamma$  —

Таблица 14.35. Различные схемы отбелки сульфатной хвойной целлюлозы

Годы производства	1970-e rr.	)	Середина 1980-х гг.	IT.	Начало 2000-х гг.	00-x гг.
Вид отбелки	Хлорная отбелка	Отбелка без хлора	Отбелка (	Отбелка без хлора ЕСF	Отбелка без хлора — «легкая» ЕСF	а — «легкая»
Обозначение	No 1	Nº 2		Nº 3	Nº 4	
Технологическая схема	X/A — Щ — Г — Д — Щ — Д — К	$\begin{array}{l} A_0 - \text{UMO} - \text{A} - \\ \text{UL} - \text{A} - \text{K} \end{array}$	-0-0 -0	Д <sub>0</sub> — щоп — д — щп — д — К	0-0 — (603) —	що — д — д — к
Количество растворенного лигнина в процессе отбелки	48 Kr /T	48 Kr /T	24 Kr /T 0-0-31	24 Kr /T 17 Kr/T	36 KF/T	12 кг /т
Количество АОХ, поступающее со сто- ками на биологическую очистку (БОС)	9,6 KF/T	4,8 kr/T	O P A	(0) — 2,4 kг/т (0-0) — 1,7 кг/т	A P	1,2 KF/T
Процент очистки АОХ на БОС	30%	%08		%06		%06
Сброс АОХ с очищенными водами в водоем	6,7 KF/T	1 KF/T		(0) - 0.24  KF/T (0-0) - 0.17  KF/T		0,12 KF/T
Рекомендации ХЕЛКОМ по сбросу АОХ	0,4 кг/т (существующее предг 0,2 кг/т (новое производство)	0,4 кг/т (существующее предприятие) 0,2 кг/т (новое производство)	ие)			

Примечания:

1. Схема № 1 «Х/Д — Щ — Г — Д — Щ — Д — К» состоит из следующих стадий:

Х/Д — хлорирование с добавлением диоксида хлора;

Щ — щелочная обработка;

Г — обработка гипохлоритом;

Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub> — отбелка диоксидом хлора;

Щ — щелочная обработка;

К — кисловка водным раствором SO<sub>2</sub>

2. Схема № 2 «Д — ЩОП — Д<sub>0</sub> — Щ — Д<sub>2</sub> — К» состоит из следующих стадий:

Д<sub>0</sub> — делигнификация диоксидом хлора;

ЩОП — щелочная обработка в присутствии кислорода;

Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub> — отбелка диоксидом хлора;

<u>Щ — щелочная обработка в присутствии гипохлорита;</u>

К — кисловка водным раствором  ${\sf SO}_2$ 

Схема № 3 0 — Д<sub>0</sub> — ЩОП — Д — ЩШ — Д — К состоит из следующих стадий: 0 — кислородно-щелочная обработка в одну ступень;

0-0 — кислородно-щелочная обработка в две ступени;

— делигнификация диоксидом хлора (индекс <sub>0</sub> — обозначение без добавления хлора) после кислородно-щелочной обработки;

ЩОП — щелочная обработка в присутствии кислорода и пероксида

<u> ЩП — щелочная обработка в присутствии пероксида водорода;</u> водорода;

Д — отбелка диоксидом хлора;

К — кисловка водным раствором SO $_2$ .

состоит из следующих стадий:

0-0 — кислородно-щелочная обработка в две ступени;

 ${\rm A_0}$  — делигнификация диоксидом хлора после кислородно-щелочной обработки:

ЩО — щелочная обработка в присутствии кислорода;

Д — отбелка диоксидом хлора;

К — кисловка водным раствором SO<sub>2</sub>

химикатов направляются в канализацию, светлая — на регенерацию; 5. В табл. 14.35, 14.36: темные стрелки обозначают, что растворы

ЩО — щелочная обработка в присутствии кислорода.

*Таблица 14.36.* Различные схемы отбелки сульфатной лиственной целлюлозы, образование растворенного лигнина и сброс AOX в окружающую среду

Годы производства	1970-е гг.	Середин	а 1980-х гг.		
Вид отбелки	Хлорная отбелка	Отбелка без хлора	Отбелка без хлора ECF		
Технологическая схема	Х/Д — Щ — Г — Д — Щ — Д	Д <sub>0</sub> — ЩОП — Д <sub>1</sub> — Щ — Д <sub>2</sub> — К	0 — Д <sub>0</sub> — ЩОП — Д		
Обозначение	Nº 5	Nº 6	Nº 7		
Количество растворенного лигнина в процессе отбелки	<b>20</b> κτ/τ	<b>20</b> κτ/τ	10 κг/τ 10 κг/τ		
Количество АОХ, поступающее со стоками на биологическую очистку (БОС)	5,2 кг/т	2,0 кг/т	СРК 1,0 кг/т		
Процент очистки АОХ на БОС	30%	75%	80%		
Сброс AOX с очищенными водами в водоем	3,6 кг/т	0,5 кг/т	0,2 кг/т		
Рекомендации ХЕЛКОМ по сбросу AOX	0,4 кг/т (существующее предприятие) 0,2 кг/т (новое производство)				

Таблица 14.37. Экспертная оценка содержания загрязняющих веществ в сточных водах различных производств

Пред	Предприятия, работающие по технологии с хлором и гипохлоритом				П	редприяти	я, работаю	щие по НД	ļΤ
	После очистки			После очистки					
AOX	ХПК	БПК₅	N <sub>общ</sub>	Р <sub>общ</sub>	AOX	ΧПК	БПК₅	N <sub>общ</sub>	Робщ
1,7	37,8	7,5	0,18	0,08	0,0-0,25	10-23	0,3-1,5	0,15	0,02

	ΙX	1K	Хлорид	ц-анион	Хлороформ		
	Сброс Удельны в водоем, сброс т/год кг/т в. с.		Сброс в водоем, т/год	Удельный сброс, кг/т в. с. ц.	Сброс в водоем, т/год	Удельный сброс, кг/т в. с. ц.	
Технология 80-х гг.	25000	50	25000	50	15	0,03	
НСТ	7500	15	20000	40	нет	нет	

#### Сравнение технологий производства древесной массы

Развитие технологии древесной массы направлено на полное или частичное замещение в композиции бумаги технической целлюлозы. Производство механической массы из щепы ТММ, ХТММ, ХММ по качеству волокна и снижению затрат в производстве бумаги превосходило ДДМ. Поэтому в 1980-е гг. в мире производство ДДМ было прекращено и существующие мощности были модифицированы на ДМД или закрыты. Совершенствовалось производство древесной массы в рафинерах из щепы хвойных и лиственных пород со ступенью отбелки, что позволило древесной массе приблизиться по качеству к беленой целлюлозе. В ряду видов механической массы показатели механической прочности

увеличиваются: ДДМ < ДМД < РМД < ТММ < ХТММ < ХММ и в обратной последовательности повышаются оптические свойства. Свойства и показатели качества различных полуфабрикатов из древесины ели и осины в сравнении с сульфатной беленой целлюлозой представлены в табл. 14.39.

Таблица 14.38. Экспертная оценка удельных затрат сырья, химикатов и энергоресурсов по схемам для отбелки сульфатной лиственной целлюлозы по схемам с использованием хлора «Х/Д — Щ —  $\Gamma$  —  $\Pi_1$  —  $\Pi_2$  и ECF: «О —  $\Pi_0$  —  $\Pi_0$  —  $\Pi_0$  —  $\Pi_0$  »

	Схема № 5 Х/Д — Щ — Г — Д <sub>1</sub> — Щ — Д <sub>2</sub>	Схема № 7 О — Д <sub>о</sub> — ЩОП — Д <sub>п</sub> Д <sub>2</sub>
Хлор, кг/т	22 (22 × 5,59 = 122,98 py6./τ)	0
Гипохлорит, кг/т	28 (28 × 26,75 = 749,0 py6./τ)	0
Кислород, кг/т	0	26 (26×3,56=92,56 руб./т)
Окисленный белый щелок, кг/т	0	15 (29,84 руб./т)
Диоксид хлора, кг/т	6,7 (6,7×31,86=213,46 py6./τ)	16 (16×31,86=509,76 руб./т)
Сода каустическая, кг/т	21 (21×9,47=198,87 py6./τ)	10,5 (10,5×9,47=99,43 py6./τ)
Перекись водорода, кг/т	0	4 (4×20,84=83,36 руб./т)
Серная кислота, кг/т	0	7 (7×1,64=12,3 руб./т)
Коэффициент выхода беленой целлюлозы	0,92	0,95
Стоимость щепы на 1 т в. с. беленой целлюлозы	(3,96 :0,92) ×915,65=3941,27 руб./т	(3,96 :0,95) ×915,65=3816,81 руб./т
Расход пара, Гкал/т	1,5 (1,5×312,55=468,83 руб./т)	0,16 (0,16×312,55=50,00 руб./т)
Расход воды, м³/т в. с. беленой целлюлозы	90 (90×1,73=155,7 руб./т)	30 (30×1,73=51,9 руб./т)
Сброс на очистные сооружения, м³/т	90 (90×1,55=139,5 руб./т)	30 (30×1,55=46,5 руб./т)
Σ удельные затраты	5989,61 руб./т	4792,46 руб./т
	Δ — 1197,15 руб./т	

### Примечания:

1. Схема № 5 «Х/Д — Щ — Г — Д<sub>1</sub> — Щ — Д<sub>2</sub>» состоит из следующих стадий: X/Д — хлорирование с добавлением диоксида хлора;

 $\Gamma$  — обработка гипохлоридом;  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$  — отбелка диоксидом хлора;  $\Pi$  — щелочная обработка.

- 2. Схема № 7 «О Д $_0$  ЩОП Д $_n$ Д $_2$ » состоит из следующих стадий:
- 0 кислородно-щелочная обработка в одну ступень;
- ${\sf Д_0}$  делигнификация диоксидом хлора после кислороднощелочной обработки;

ЩОП — щелочная обработка в присутствии кислорода и пероксида водорода;

*Таблица 14.39*. Различные виды механической массы из древесины ели и осины, их свойства и показатели качества

	Порода древесины											
					Ель			Осина				
Показатель		Вид полуфабриката										
	ддм	дмд	PMM	ТММ	XTMM	Беленая XTMM	Сульфатная беленая целлюлоза	Беленая XTMM	Сульфатная беленая целлюлоза			
Выход, %	96	95	94	94	92	90	46	85	57			
Степень помола, °ШР	68	68	68	68	68	32	32	32	32			
Пухлость, см³/г	2,5	2,6	2,6	2,7	2,5	2,7	1,3	20	1,4			
Разрывная длина, км	2,8	3,6	4,0	4,4	4,8	4,4	10,5	5,0	8,0			
Сопротивление раздиранию, мН·м²/г	4,4	5,1	7,4	8,0	8,8	11,3	10,0	6,2	9,1			
Белизна, % ISO	59	57	57	55	60	78	88	80	90			
Непрозрачность,%	97	96	95	95	94	82	68	86	72			
Относительная прочность, %	100	123	154	168	180	201	355	182	251			

Как видно из табл. 14.39, выход механической массы почти в два раза превышает выход целлюлозы из древесины, а беленая XTMM из древесины ели по некоторым показателям приближается к сульфатной беленой целлюлозе. Также нужно отметить важное свойство механической массы — высокую непрозрачность, которая улучшает структуру бумаги и ее печатные свойства, а высокие механические свойства и белизна современной древесной массы позволили ее использовать в производстве высококачественной бумаги для печати и санитарно-гигиенических изделий.

#### Сравнение технологий переработки макулатуры

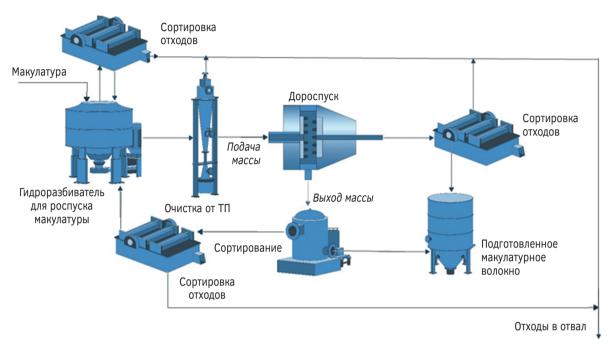
В качестве примера рассмотрим наиболее простые и распространенные в середине 1990-х гг. технологические схемы для производства туалетной, упаковочной бумаги и картона. На рис. 14.20 представлена схема подготовки макулатурного волокна, которая при небольшом числе технологических операций достигала достаточной однородности волокнистой массы вторичных волокон при небольших потерях волокна при производстве туалетной бумаги низкого качества.

Схема, представленная на рис. 14.20, была усовершенствована дополнительными ступенями очистки и сортирования, см. рис. 14.21. Эта схема позволяет получать макулатурные волокна для упаковочных видов бумаги, покровного слоя картона и бумаги для гофрирования.

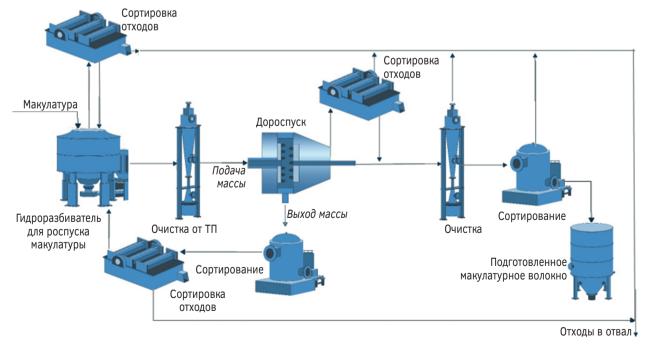
Наиболее высокотехнологичная схема представлена на рис. 14.22. Чем длиннее волокно, тем выше механические свойства бумаги, поэтому ступень фракционирования, приведенная

в данной схеме, обеспечила высокое качество макулатурного волокна и рациональное использование коротких и длинных волокон в различных видах продукции.

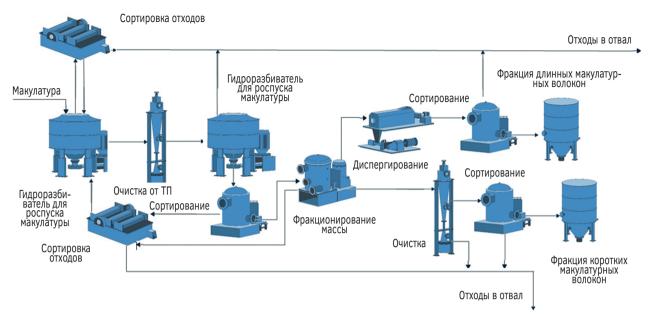
Схемы подготовки макулатурных волокон (рис. 14.20–14.22) используют для производства бурых сортов бумаги и картона, для которых можно использовать 1, 2 и 4 группы макулатуры.



*Puc. 14.20*. Схема подготовки макулатурной массы для производства туалетной бумаги (здесь и далее «Очистка ТП» — очистка в центробежных очистителях от тяжелых примесей)

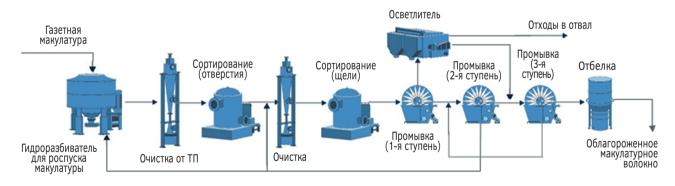


*Puc. 14.21.* Схема подготовки макулатурного волокна для производства упаковочных видов бумаги, покровного слоя картона и бумаги для гофрирования



*Puc. 14.22.* Схема подготовки макулатурного волокна для производства картона и упаковочных видов бумаги с использованием фракционирования волокон на короткие и длинные волокна, чтобы максимально рационально использовать в разных видах продукции

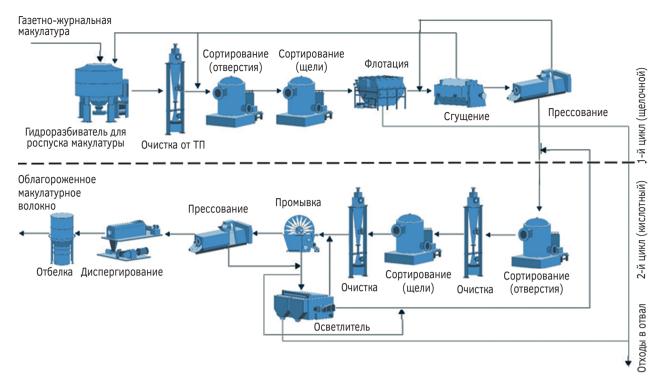
Для производства писчепечатных видов бумаг используют 1 и 3 группы макулатуры и сложные технологические схемы, которые включают процессы облагораживания макулатурного волокна. Таких схем много, и поэтому их классифицируют по двум признакам: по типу использования технологии облагороженного волокна (промывка, флотация или комбинация промывки и флотации) и по числу технологических циклов с собственным водооборотом (от одного до трех). На рис. 14.23 в качестве примера представлена схема моноцикличного производства облагороженного макулатурного волокна (ОМВ) из газетной макулатуры для производства газетной бумаги с использованием трехступенчатой промывки, а на рис. 14.24 — пример схемы с двумя технологическими циклами.



*Puc. 14.23*. Схема моноцикличного производства ОМВ для газетной бумаги с использованием трехступенчатой промывки (завод Garden States, Нью-Джерси, США)

Схема производства вторичного волокна для писчепечатных видов бумаг из смешанной офисной макулатуры с тремя технологическими циклами представлена на рис. 14.25.

В представленной на рис. 14.25 схеме имеются две ступени диспергирования частичек краски и три ступени флотации, обеспечивающие эффективное удаление из массы частичек краски флексографической печати. Такое количество обработок макулатуры является отличительной особенностью технологии с тремя производственными циклами.



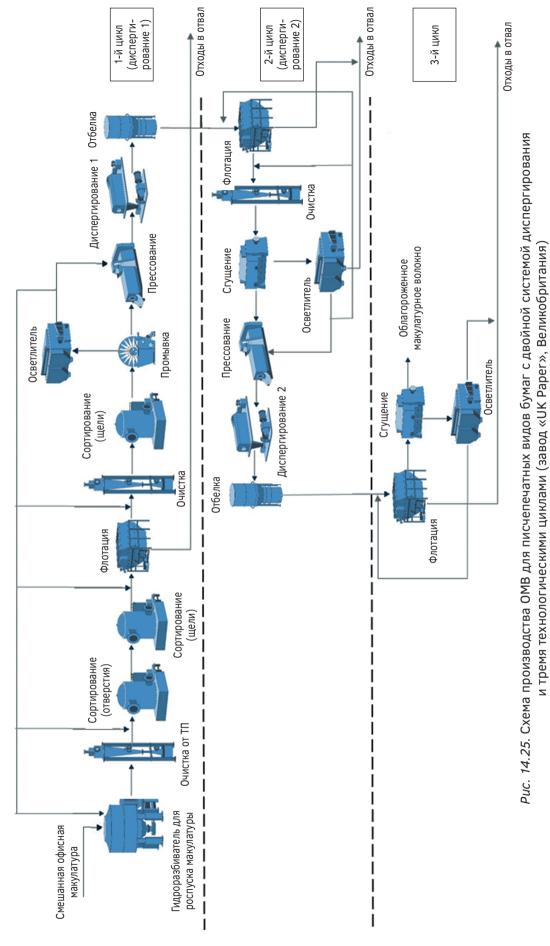
*Puc. 14.24*. Схема производства ОМВ для газетной бумаги с двумя технологическими циклами (завод Bridgewater Paper, Эллисмере Порт, Великобритания)

Следует отметить, что качество вторичного волокна, выделенного по данной технологии из смешанной офисной макулатуры, очень близко к качеству первичных волокон (механической массы и технической целлюлозы) для производства газетной и писчепечатных видов бумаг. В табл. 14.40 показано улучшение качества смешанной офисной макулатуры, которое достигается в процессе производства ОМВ по технологии на рис. 14.25, а в табл. 14.38 приведено сравнение качества ОМВ, ТММ, ДМД.

Показано, что ОМВ имеет потребительские свойства, аналогичные первичным волокнам. Однако для достижения экономической эффективности производства ОМВ необходимы потоки с высокой производительностью не менее 250 т/сут Так, средняя производительность потоков на 24 заводах в Северной Америке составила 335 т/сут, а средние затраты на 1 т продукции — 441,9 долларов. Можно отметить, что такие высокие затраты на производство 1 т макулатурного волокна равны или даже выше уровня затрат на производство первичного волокна, а общая стоимость инвестиций, например, в завод «UK Paper» (рис. 14.25) составила 68 млн долларов, которая сопоставима со стоимостью отбельного цеха первичного волокна аналогичной производительности.

Таблица 14.40. Улучшение показателей качества смешанной офисной макулатуры в процессе производства ОМВ по технологии с тремя производственными циклами

Показатель	Поступающая макулатура	Как улучшается качество волокна
Белизна, % ISO	59,7±5	Повышается на 22,8% до 80-85% ISO
Удельная площадь темных соринок (средняя чистота), мм²/м²	2872±1600	Снижается на 99,65%
Среднее содержание липких примесей, мм²/кг	13580±11600	Снижается на 98,9% (остается менее 150 мм²/кг)
Средняя зольность смешанной макулатуры, определенная при температуре 575° С,%	20,6±5	Снижается на 75,7% (остается менее 5%)



энциклопедия ТЕХНОЛОГИЙ

Таблица 14.41. Сравнительные характеристики качества ОМВ, полученного по технологии с двумя производственными циклами, и первичного волокна по технологии ТММ и ДМД для производства газетной бумаги

Показатель	OMB	TMM	ДМД
Сорность, STFI	14	67	149
Белизна, % ISO	59	57	61
Плотность папки, кг/м <sup>3</sup>	440	320	340
Прочность на разрыв, кН⋅м/кг	37	38	30
Индекс сопротивления раздиранию, Н·м²/кг	7,6	8,6	4,5

## РОЛЬ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

К началу XXI в. целлюлозно-бумажная промышленность — одна из ведущих составляющих мирового лесопромышленного комплекса. В 2016 г. мировой объем производства продукции ЦБП составил порядка 440 млн т. Необходимо отметить, что 85% производства приходится на 10 стран, из которых США производят около 50 млн т, Бразилия и Канада — по 17,5 млн т. Другими крупными производителями являются Швеция, Финляндия, Китай, Япония, Россия, Индонезия и Чили — каждая с годовым объемом производства от 5 до 12 млн т.

Россия обладает огромной лесосырьевой базой, в которой только ежегодный прирост древесины составляет 980 млн м<sup>3</sup>. Для сравнения, в 2016 г. объем заготовки составил 214 млн м<sup>3</sup>, или 20% от ежегодного прироста. По расчетам Алексея Ивановича Киприанова, только из ежегодного прироста биомассы можно заготовить 500 млн м<sup>3</sup> 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 РФ. 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, нерациональную рубку леса и очень скромную долю России в глобальном лесном бизнесе на уровне 3%. Отметим, что в Европе за последние 10 лет при интенсивном развитии целлюлозно-бумажной промышленности площадь лесов даже увеличилась более чем на  $44\,000~{
m km^2}$  (источник 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 практически не используется. При этом суммарный вклад лесохимического производства в сельское хозяйство, парфюмерную, медицинскую, пищевую, теплоэнергетическую, металлургическую, космическую отрасли промышленности оценивается не менее 10 млрд долларов. Отсутствие переработки всей биомассы дерева является причиной низкой экономической эффективности работы ЛПК. Так, в 2016 г. общий объем выручки составил 1,4 трлн рублей (\$ 23 млрд), из которых выручка от химической переработки древесины 1,15 трлн рублей (\$ 19,2 млрд), или 84% выручки ЛПК. Вклад в ВВП страны составляет всего 0,5%, экспортный потенциал — 5-8 млрд долларов, в то время как, по оценкам экспертов, он должен достигать 20-30 млрд долларов, что сопоставимо с поставками нефти, газа и продукции сельского хозяйства.

# ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

С появлением в 1989 г. интернета как глобальной информационной системы эпоха бумаги как носителя информации начинает затухать и начинается эпоха электронных носителей информации. Однако при этом необходимо учитывать постоянное увеличение населения Земли, и если в 2017 г. оно составило 7,5 млрд, то к 2030 г. может достигнуть 10 млрд человек. Поэтому потребность в бумажно-картонной продукции к 2030 г. будет устойчиво расти в сегментах сангигиенических бумаг (+19,4 млн т), тары и упаковки (+81 млн т), в производстве целлюлозы для химической переработки. Всего, по данным RISI, ожидается рост продукции ЦБП с 440 млн т в 2016 г. до 570 млн т в 2030 г., или на 30%!

К 2030 г. в России возможно увеличение объемов производства ЦБП на 12,4 млн т: товарная целлюлоза — +11,0 млн т; СГИ — +0,6 млн т; упаковочная бумага и картон — +0,6 млн т; писчепечатные бумаги — +0,2 млн т. Экспорт целлюлозы вырастет на 10,6 млн т за счет увеличения производства товарной сульфатной целлюлозы на 12,5 млн т при сокращении производства сульфитной на 0,23 млн т. Реализация данных планов по развитию ЦБП России позволит увеличить налоговые поступления на 27 млрд рублей в 2030 г. и создать около 5 тыс. высокопроизводительных рабочих мест.

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.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Аввакумова, А. В. Отбелка целлюлозы для химической переработки / А. В. Аввакумова // Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. матер.: в 3 т. Т. 3, ч. 3. СПб.: Издво С.-Петерб. гос. лесотех. акад., 2012. 65 с.
- 2. Бегунов, Р. Ю. Экономические аспекты производства сульфитной целлюлозы / Р. Ю. Бегунов // Производство сульфитной целлюлозы — настоящее и будущее: науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г. — СПб., 1992. — С. 29–32.
- 3. Буйницкая, М. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом (Обзорная информация) / М. И. Буйницкая // Целлюлоза, бумага и картон : экспресс-информация. М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1990. Вып. 12. 60 с.
- 4. Ефремов, Ю. Н. Актуальные направления сохранения сульфитного способа производства волокнистых полуфабрикатов в России / Ю. Н. Ефремов // Производство сульфитной целлюлозы настоящее и будущее: науч.-практ. конф., СПб., 25–27 ноября 1992 г. / Санкт-Петербургское научно-техническое общество бумажной и деревообрабатывающей промышленности. СПб., 1992. С. 8.

- 5. *Заварицкий, Д. А.* Производство поташа / Д. А. Заварицкий. Казань : Имп. Казан. экон. об-во, 1856. 60 с.
- 6. Зонов, Н. С. Анализ состояния и направления совершенствования производства сульфитной целлюлозы (Обзорная информация) / Н. С. Зонов, Н. Е. Макуха, И. М. Ульянцева, М. И. Буйницкая // Целлюлоза, бумага и картон : экспресс-информация. М. : ВНИИПИЭИлеспром, 1990. Вып. 23. С. 2–7.
- 7. Иванов, М. А. Смолистые вещества древесины и целлюлозы / М. А. Иванов, Н. Л. Коссович, С. С. Малевская, И. А. Нагродский, М. Н. Элиашберг. М.: Лесн. пром-сть, 1968. 349 с.
- 8. Использование макулатуры в производстве картона и бумаги // Waste.ru : отраслевой портал. 2008. URL: https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=315 (Дата обращения: 24.10.2019). Загл. с экрана.
- 9. История бумаги в России // Портал о бумаге [сайт]. 2014. URL: http://uniq-paper.ru/istoriya-bumagi-v-rossii/ (дата обращения: 24.10.2019). Загл. с экрана.
- 10. История бумажной отрасли в России // EuroPapier [официальный веб-сайт]. URL: https://europapier.ru/interesno\_dlya\_vas/



- art149.html (дата обращения: 24.10.2019). Загл. с экрана.
- 11. *Карлссон, X*. Гид по волокну (Анализ волокна и его применение в ЦБП : справ. руководство) / X. Карлссон; пер. А. М. Кряжева. Стокгольм : Kista snabbtryck, 2008. 118 с.
- 12. Киприанов, А. И. Комплексная переработка древесины / А. И. Киприанов // Лесопромышленный комплекс России XXI века: тезисы докл. Четвертого междунар. форума. 15—19 окт. 2002 г. СПб., 2002. С. 171–174.
- Кожова, О. М. Экологический мониторинг Байкала / О. М. Кожова, А. М. Бейм. — М. : Экология, 1993. — 342 с.
- 14. Кожухова, А. Крупнейший целлюлозный завод в Германии / Анна Кожухова, Сергей Моосманн // ЛесПромИнформ. 2006. № 1 (32). URL: https://lesprominform.ru/jarticles. html?id=1542 (дата обращения: 24.10.2019).
- 15. Комаров, В. И. Классификация видов бумаги и картона / В. И. Комаров // Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. матер.: в 3 т. Т. 2, ч. 1. СПб.: Политехника, 2003. С. 7–10.
- 16. Котласский целлюлозно-бумажный комбинат 40 лет лидерства / [Под ред. Л. Клочковой]. Архангельск : М'арт, 2001. 550 с.
- 17. Краткая история бумаги и картона на примере нескольких примечательных событий // PAO «Бумпром» [официальный веб-сайт]. URL: http://bumprom.ru/index.php?ids=278 (дата обращения: 24.10.2019). Загл. с экрана.
- 18. *Кряжев, А. М.* Давайте поспорим! / А. М. Кряжев, И. В. Вервейко // Журнал ЦБК. 2013. № 2. С. 60–61.
- 19. *Кряжев, А. М.* Леса в жизни человечества: вчера, сегодня, завтра / А. М. Кряжев, А. Д. Заварицкий, Е. Г. Белов // Аналитические обзоры литературной информации. СПб.: 000 «Адвис плюс», 2017. Вып. 1. 75 с.
- 20. *Кряжев, А. М.* Новые технические решения и поиск путей создания экологически безопасного производства беленых полуфабрикатов А. М. Кряжев, В. М. Васильев, В. И. Захаров, Ф. В. Шпаков, О. Л. Зарудская, А. В. Аввакумова // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1993. № 4. С. 16–19.
- 21. *Кряжев, А. М.* Переработка макулатуры / А. М. Кряжев // Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. матер.: в 3 т. Т. 1, ч. 3: Переработка макулатуры. СПб.: Политехника, 2004. С. 161–311.
- 22. *Кряжев, А. М.* Снижение вреда окружающей среде при внедрении НДТ / А. М. Кряжев, Т. В. Сокорнова // Экология производства. 2011. № 2. С. 32–36.
- 23. *Кряжев, А. М.* Там, где ходят вверх ногами / А. М. Кряжев // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1996. № 7–8. С. 14–15.
- 24. *Лахтиков, Ю. О.* Переход ЦБП к нормированию по принципам НДТ / Ю. О. Лахтиков // Горячие точки Баренцева региона : научно-практиче-

- ский семинар 28–31 января 2019. PITER INN г. Петрозаводск, Республика Карелия. Петрозаводск, 2019. 12 с.
- 25. Минуя рубежи эпох, 1940–2010 : [об Архангельском ЦБК / ред.-сост. Н. А. Кошелева]. Архангельск : Архангельский ЦБК, 2010. 488 с.
- 26. Неволин, В. Ф. Целлюлозно-бумажная промышленность России / В. Ф. Неволин // Proc. Pap-For'92 Conference, St. Petersburg, Russia, September 22–26, 1992. Atlanta: TAPPI Press, 1992. P. 49–60.
- 27. *Непенин, Н. Н.* Технология целлюлозы. Производство сульфитной целлюлозы: в 3 т. Т. 1 / Н. Н. Непенин. М.: ГОСЛЕСБУМИЗДАТ, 1956. 748 с.
- Непенин, Ю. Н. Технология целлюлозы. Производство сульфатной целлюлозы: в 3 т. Т. 2 / Ю. Н. Непенин. — 2-е изд. — М.: Лесн. пром-сть, 1990. — 596 с.
- 29. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных по видам экономической деятельности в Российской Федерации (млн руб.) [электронный ресурс]. 2018. URL: http://www.gks.ru/free\_doc/new\_site/business/prom/otgruzka\_CDE.xls (дата обращения: 25.10.2019).
- 30. 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 : науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г. СПб., 1992. С. 40–42.
- 31. Отбелка целлюлозы. Монография ТАППИ № 10 / пер. В. М. Сперанского ; под ред. Ф. П. Комарова. М. : Гослесбумиздат, 1957. 325 с.
- 32. Полвека в строю. Архангельский целлюлознобумажный комбинат (1940–1990). — Архангельск : Северо-Западное книжн. изд-во, 1990. — 124 с.
- 33. Пономарев, О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом (Обзорная информация) / О. И. Пономарев, В. О. Шапиро, Ф. Д. Лялина // Целлюлоза, бумага и картон: экспресс-информация. — М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1987. — Вып. 5. — 42 с.
- 34. Пономарев, О. И. Научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности за рубежом (Обзорная информация) / О. И. Пономарев, Ф. Д. Лялина, В. О. Шапиро // Целлюлоза, бумага и картон: экспресс-информация. — М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1990. — Вып. 12. — С. 2–9.
- 35. Пономарев, О. И. Современное состояние производства термомеханической массы (Обзорная информация) / О. И. Пономарев, С. О. Апсит // Целлюлоза, бумага и картон: экспресс-информация. — М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1979. — Вып. 18. — С. 1–2.
- 36. Производство бумаги в России и СССР // Бузеон. Музей бумаги [сайт]. URL: http://www.buzeon.ru/history/russia (дата обращения: 24.10.2019). Загл. с экрана.

- 37. Производство термомеханической массы на Сыктывкарском ЛПК // Обзорная информация по информационному обеспечению общесоюзных научно-технических программ. — 1988. — Вып. 8. — 40 с.
- 38. Пузырев, С. С. Производство полуфабрикатов / С. С. Пузырев, Э. В. Виролайнен, Ю. А. Поляков // Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. матер.: в 3 т. Т. 1, ч. 3: Технология механической (древесной) массы. СПб.: Политехника, 2004. С. 7–160.
- Раскин, Н. М. Николай Леблан (1742–1806) / Н. М. Раскин // Пионеры машинной индустрии / ред. В. Ф. Миткевич. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. — С. 125.
- 40. *Розен, Б. Я.* Чудесный мир бумаги / Б. Я. Розен. М.: Лесная пром-сть, 1986. 127 с.
- 41. Самсонов, Н. Е. Сравнение бисульфатного и двухступенчатого методов варки древесины / Н. Е. Самсонов, М. Г. Мутовина, Т. А. Бондарева, А. И. Бобров // Производство сульфитной целлюлозы настоящее и будущее: науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 25–27 ноября 1992 г. СПб., 1992. С. 9–10.
- 42. Смирнов, В. С. От елки до газеты / В. С. Смирнов. М.: Учпедгиз, 1962. 60 с. URL: http://www.nehudlit.ru/books/detail1186245. html (дата обращения: 24.10.2019).
- Смирнов, Р. Е. Производство сульфитных волокнистых полуфабрикатов: учеб. пособие / Р. Е. Смирнов. СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП, 2010. 146 с.
- 44. Соловьев, Ю. И. История химии: развитие химии с древнейших времен до конца XIX в.: пособие для учителей / Ю. И. Соловьев. М.: Просвещение, 1983. 368 с.
- 45. Спангенберг, Р. Перспективы в области переработки макулатуры / Р. Спангенберг // Сб. информационных сообщений Второй международной науч.-техн. конф. PAP-FOR-94, 10—12 октября 1994 г. СПб., 1994. С. 166–183.
- 46. Страна Советов за 50 лет: сб. стат. матер. М.: Статистика, 1967. 352 с. Ч. III: СССР могущественная индустриальная держава. URL: http://istmat.info/node/16044 (дата обращения: 24.10.2019).
- 47. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: проект / Минпромторг России. М., 2017. 39 с. URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project\_les2030\_20102017. pdf (дата обращения: 25.10.2019 г.).
- 48. Татарчук, В. И. Производство сульфитной целлюлозы в мире и в России. Состояние и перспективы / В. И. Татарчук // Производство сульфитной целлюлозы настоящее и будущее: науч.-практ. конф., СПб., 25–27 ноября 1992 г. С. 1–4.
- 49. Фальк, Б. Полуфабрикаты высокого выхода из лиственной древесины / Б. Фальк, С. С. Пузырев, В. А. Жалина. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. 60 с.
- 50. *Фелкер, Э.* Большая отбелка. Одна промышленная история / Эрнст Фелкер. Ниферн : «Гебр. Бельмер ГмбХ», 1992. 159 с.

- 51. ЦБП России: состояние и перспективы // ЛесПромИнформ. 2013. № 3 (93). URL: http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3136 (дата обращения: 08.11.2017).
- 52. Шпаков, Ф. В. Основные направления совершенствования технологии производства беленых полуфабрикатов в России на пороге XXI века / Ф. В. Шпаков, В. Ф. Неволин, А. М. Кряжев, А. А. Вдовин // Сб. пленарных докладов на пятой международной конференции ПАПФОР-98. 16–17 ноября 1998 г. СПб., 1998. С. 74–84.
- 53. *Ягодин Б. А.* Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. 2-е изд. СПб. : Лань, 2016. 584 с.
- 54. Button, A. F. The World of Market Pulp / A. F. Button, H. Nanko, D. Hillman. Atlanta (GA): TAPPI Press, 2004. 212 p.
- 55. Eriksson, T. P. The Development and Classification of Modern Deinking Systems / T. P. Eriksson, M. A. McCool // East European Paper Recycling Symposium. Symposium proceeding papers, 1997. Warsaw, Poland, 1997. DIII-1 DIII-14.
- Kriesel, J. Performance Fibers / J. Kriesel // Rayonier. Investor day. — 2011. — Sept. 22. — P. 35–62.
- 57. Liebergott, N., and Lierop, B. van. An overview of new developments in pulping & bleaching / N. Liebergott and B. van Lierop // Proc. Pap-For'92 Conference, St. Petersburg, Russia, September 22–26, 1992. Atlanta (GA): TAPPI Press, 1992. P. 163–175.
- 58. Mulligan, D. B. Being competitive and profitable using small scale solution / D. B. Mulligan, R. E. Brauer // East European Paper Recycling Symposium, Symposium proceedings papers, 1997. Warsaw, 1997. DI-1 DI-10.
- 59. Multi-Client Study. Outlook for Global Dissolving Pulp Market: PPI Magazine. — RISI Inc., 2011. — 149 p.
- 60. Paper peaks while pulp keeps coming // Pulp Paper Internat. 1990. Vol. 32, No 1. P. 40–41.
- Sabhash, Ch. Effluent minimization a little water goes a long way / Chandra Sabhash // TAPPI Journal. — 1997. — Vol. 80, No 12. — P. 37–42.
- 62. Simons, D. Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry / D. Simons // PAPRICAN. 1999, Nov. 206 p.
- 63. Sjöström, E. Wood Chemistry. Fundamentals and Applications / E. Sjöström. New York (NY): Academic Press, 1981. 223 p.
- 64. Slinn, R. G. Pulp and Paper Industry Trends in the United States and the World / R. G. Slinn // Proc. Pap-For'92 Conference, St. Petersburg, Russia, September 22–26, 1992. — Atlanta (GA): TAPPI Press, 1992. — C. 1–20.
- 65. Wong, A. Sulphite, the new wave/ Al Wong // Proc. Pap-For'92 Conference, St. Petersburg, Russia, September 22–26, 1992. Atlanta (GA): TAPPI Press, 1992. P. 233–240.
- 66. World Pulp and Paper Technology / Ed. F. Roberts. London: Sterling Publ. Intl., Ltd., 1989.

