

**В. К. Дубовый, А. С. Смолин
Е. Г. Смирнова, П. М. Кейзер**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ ЦБП**

Часть 1

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

В. К. Дубовый, А. С. Смолин
Е. Г. Смирнова, П. М. Кейзер

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ЦБП

Часть 1

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2022

УДК 676:661(075)

ББК 36.77я7

Т 384

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии древесных композиционных и целлюлозных материалов Санкт-Петербургского лесотехнического университета им. С. М. Кирова

А. В. Шелоумов;

доктор технических наук, заведующий кафедрой инженерной графики и автоматизированного проектирования ВШТЭ Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

Н. П. Мидуков

Т 384 Технологические процессы и оборудование ЦБП: учеб. пособие. Часть 1 / В. К. Дубовый, А. С. Смолин, Е. Г. Смирнова, П. М. Кейзер. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — 91 с.
ISBN 978-5-91646-311-8

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Технология бумаги, картона и композиционных материалов», «Технология производства картона» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 18.03.01 «Химическая технология»; «Технология ЦБП ч. 2» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»; «Технологические процессы и оборудование ЦБП как объекты автоматизации» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»; «Технология производства бумаги и картона» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства».

Пособие предназначено для подготовки бакалавров и магистров очной и заочной форм обучения. Отдельные разделы пособия могут быть полезны аспирантам и специалистам, работающим в области ЦБП.

УДК 676:661(075)

ББК 36.77я7

ISBN 978-5-91646-311-8

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2022

© Дубовый В. К., Смолин А. С.,

Смирнова Е. Г., Кейзер П. М., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И КАРТОНА.....	5
1.1. Краткий исторический очерк возникновения и развития бумажного производства	5
1.2. Общая технологическая схема производства бумаги и картона	18
1.3. Классификация бумаги и картона.....	22
1.4. Основные свойства бумаги и картона	23
1.5. Волокнистые материалы, используемые в бумажно-картонном производстве	24
1.5.1. Целлюлоза из хвойных пород древесины.....	26
1.5.2. Целлюлоза из лиственных пород древесины	29
1.5.3. Волокнистые полуфабрикаты высокого и сверхвысокого выхода....	30
1.5.4. Волокнистые полуфабрикаты на основе однолетних растений.....	32
1.5.5. Макулатура	33
2. ПОДГОТОВКА БУМАЖНОЙ МАССЫ	37
2.1. Роспуск волокнистых полуфабрикатов.....	38
2.2. Размол волокнистых полуфабрикатов	47
2.3. Процессы массоподготовительных отделов.....	76
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей учебного пособия, состоящего из 2-х частей, является изложение в простой и доступной форме современных теоретических представлений о таких важнейших технологических процессах бумажно-картонного производства, как подготовка бумажной массы, отлив, прессование и сушка. Значительное место уделено описанию технологических схем производства бумаги и картона, основного оборудования, влияния важнейших технологических факторов на процессы производства бумаги и картона, определяющих их качество.

В 1-й части учебного пособия приведена история развития бумажного производства. Дано описание общей технологической схемы производства бумаги и картона. Представлены характеристики и морфологические особенности волокнистых полуфабрикатов, применяемых для производства бумаги и картона. Рассмотрены основные технологические процессы подготовки бумажной массы к отливу (ропуск, размол, проклейка, наполнение, крашение) и применяемое в массоподготовительном отделе оборудование.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И КАРТОНА

1.1. Краткий исторический очерк возникновения и развития бумажного производства

Название «бумага»

- папирус – das Papier, the paper;
- восточное название хлопка – бумуг;
- от итальянского слова “bambagia” хлопок (так называли очень рыхлую и пухлую бумагу, вырабатываемую арабами).

В течение многих тысячелетий люди подыскивали материал для изображения своих впечатлений, передачи своих чувств и мыслей. У древних народов было множество средств письменного общения. Камень был первым из них. Как наиболее доступный материал для передачи образов предметов и явлений, он долго служил человеку. Сначала это были наскальные рисунки, знаки и символы, изображающие преимущественно людей и животных. Такие рисунки называют петроглифами. Высечение письменных знаков на каменных скалах было непростое дело, оно требовало знаний, времени и большого труда. Рисунки на камнях были не просто картинками, они передавали определенную информацию (обозначали границы владений племен, места охоты, религиозные заклинания, военные сообщения). Таким образом, это было первое картинное письмо. Картинным письмом широко пользовались в древности египтяне, китайцы, индусы.

Позднее появились тексты, клинописные таблицы, календари, письма на каменных плитах, колоннах, домах, храмах. Каменные «книги» писали в древнем Вавилоне, Ассирии, Иране.

На смену камню пришли глиняные таблички. Их появление оказало большое воздействие на развитие древней культуры. На сырой глине палочками выдавливали клинописные знаки. Это было значительно проще и легче, чем высекать их на камне. Затем глиняные дощечки обжигали или сушили на солнце, и получались плитки-письма. Таким способом оформлялись древнейшие в мире договоры, словари, государственные указы и законы, книги.

В те далекие времена люди находили для письма все новые и новые материалы. Это было и дерево, как более легкий и прочный материал. Китайцы писали на бамбуковых планках, выжигая иероглифы накалившимся шилом. Жители островов Тихого океана вырезали свои письма на деревянных табличках зубьями акул. В Древней Руси писали на бересте острыми костяными стержнями.

В качестве средства письменности использовали также металл. В Индии законы записывали на медных пластинах. Древние евреи использовали для письма свинцовые пластинки, которые сворачивали в рулончики.

Но камень, глину, кость, дерево, кору, металл быстро перестали использовать как материал для письма с появлением папируса. Папирус на тысячи лет занял одно из ведущих мест в культурной жизни древних цивилизаций.

Впервые папирус начали использовать в Древнем Египте около 3 тыс. лет до н. э. Его готовили из тростникового растения *Cyperus papyrus*, произрастающего в низовьях Нила. Хотя внешний вид и состав папируса близки к бумаге, но технология его получения совсем иная, чем бумаги.

Отрезалась нижняя часть стебля тростника, белую сердцевину разрезали на тонкие продольные полоски. Несколько дней они лежали в воде для растворения органических веществ. Размягченные клейкие полоски прокатывали деревянной каталкой на доске. Затем полоски укладывают горизонтально внахлест, второй слой кладут перпендикулярно к первому. Образуется лист, стопка листов поступает под пресс для удаления воды. Полученный папирус сушили на солнце и сворачивали в свитки.

Со временем у папируса появился серьезный соперник – пергамент. Пергамент изготавливали из мягкой шкуры телят и ягнят. Кожа мылась, затем мокла несколько дней в известковой воде. Затем она натягивалась на рамке для скобления и выравнивания поверхности, потом полировалась пемзой. Пергамент стоил во много раз дороже папируса, но имел много преимуществ. Он был прочнее и плотнее, не пропускал краску, на нем можно было писать с обеих сторон.

Между папирусом и пергаментом велась долгая и упорная борьба. И все же в VII веке нашей эры папирус было запрещено употреблять для государственных документов.

На протяжении столетий пергамент, как и папирус, верно служил народам Африки, Малой Азии и Европы, но отступил перед бумагой.

Пришедшая на смену папирусу и пергаменту бумага уступала им по качеству, но, тем не менее, ее не отвергли. Способ получения бумаги оказался более прост, ее изготовление требовало меньше затрат и обходилось дешевле.

Изобретателем бумаги был китаец Цай Лунь (105 г. н. э.). Однако на самом деле бумага как материал для письма была известна в Древнем Китае задолго до названной даты (первые сведения в 12 г., т. е. начало нашей эры). Заслуга Цай Луна состоит в развитии способа выделки бумаги и распространении его в Китае. Используемое сырье – шелк сырец и его отходы (шелковка). Известно, что в 105 г. он подал предложение об изготовлении бумаги. Предложение заключалось в применении для этого каменной ступы, деревянного песта и сита. С веток шелковицы отделяли луб, рубили его на кусочки и толкли с водой до кашеобразного состояния, затем варили (рис. 1.1а, б). Эту массу вычерпывали ситом из шелковых нитей и порцию выливали на гладкую доску (рис. 1.1в). Несколько таких досок складывали вместе и помещали под груз. Отжатые листы бумаги снимали и сушили (рис. 1.1г).

В течение многих веков китайцы единолично владели секретами изготовления бумаги, оберегая тайны ремесла. Продвижение бумаги на Запад было обязано арабской цивилизации, широко использовавшей ее для письма.

В 751 г. между китайцами и арабами происходит битва у реки Талас (ныне территория Киргизии). Арабам удалось захватить в плен китайских мастеров бумаги и с их помощью наладить производство бумаги сначала в Самарканде, а затем повсюду в арабском мире.

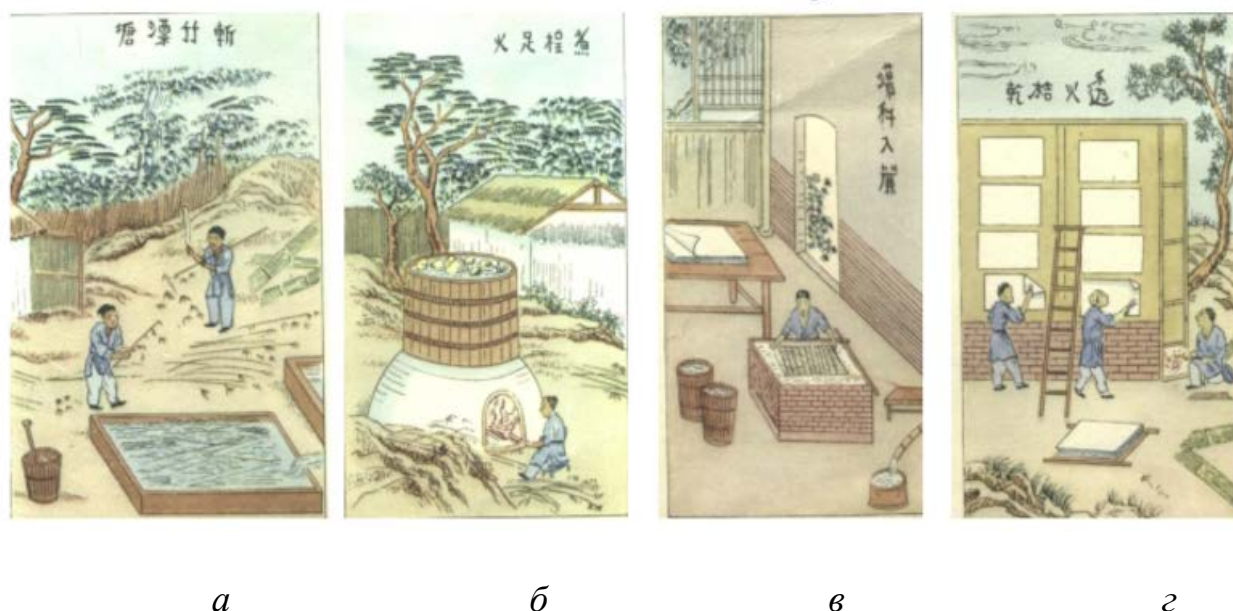


Рис. 1.1. Изготовление бумаги в древнем Китае: а – измельчение и замачивание бамбука; б – варка бамбука; в – черпание бумаги; з – сушка бумаги

В Европе первой начала делать бумагу Испания. В 1150 г. в городе Хатива провинции Валенсия была основана первая бумажная мельница. Сначала бумагу вырабатывали из хлопка. Потом ее стали делать из ветхого белья, старых канатов и парусов. Для растирания волокон использовали мельничные жернова.

Возможно, что связь с арабами через Сицилию обеспечила вскоре, в 1154 г., налаживание изготовления бумаги в Италии. Итальянские бумажники значительно облегчили способы изготовления бумаги, применив для растирания сырья в массу толчеи. Толчеей могло служить толстое бревно, каменное корыто или огромный чан. Их заполняли разваренным и измельченным тряпьем, добавляли воду и толкли деревянными пестами, приводимыми в движение валом от колеса водяной мельницы.

Древним итальянцам принадлежат и другие усовершенствования. Так, они ввели в практику проклейку бумаги животным клеем, чем повысили ее прочность, плотность, устойчивость к краскам и чернилам.

Бумага завоевывала все новые и новые страны. Даты начала изготовления бумаги в других странах Европы: 1189 г. – Франция, 1300 г. – Венгрия, 1390 г. – Германия, 1494 г. – Англия, 1565 г. – Россия, 1586 г. – Голландия, 1698 г. – Швеция. В Америку искусство изготовления бумаги было завезено испанцами в

1575 г. Первая бумажная фабрика была построена на территории США в 1690 г.

До XVII в. бумагу изготавливали вручную. Бумажные мельницы были деревянными. Исходное сырье сортировали, промывали, размягчали в воде, рубили на мелкие части и варили в котлах в щелочном растворе. Затем добавляли воду и разбивали в толчеях на отдельные волокна, массу промывали и добавляли животный клей (рис. 1.2). Черпальщики сеточной формой зачерпывали бумажную массу и, переворачивая раму, выгружали сырой бумажной лист. Листы сушили, распрямляли, разглаживали, прессовали.

Со временем цеховое бумажное производство приобрело черты мануфактурного. Толчок к развитию бумажной промышленности дало изобретение в 1453 г. Иоганном Гутенбергом книгопечатания, а в XVII в. изобретение в Голландии ролла.

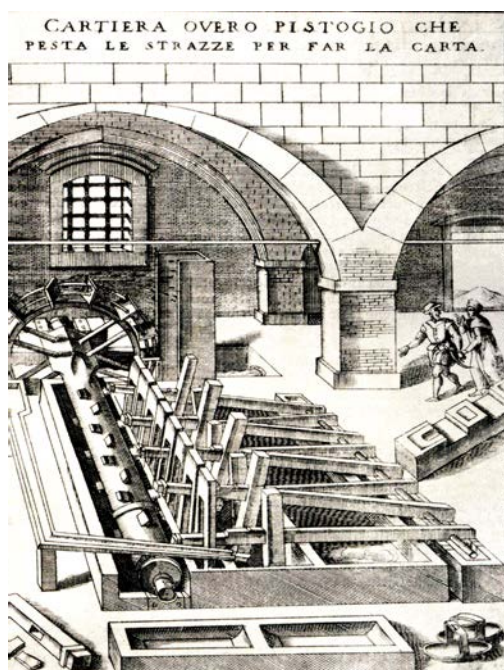


Рис. 1.2. Размол тряпья в бумажную массу

Ролл-машина разрывала и растирала тряпки, перемешивала их с водой и превращала в хорошо размолотую волокнистую массу. Применение этих машин дало голландцам возможность делать лучшую в мире бумагу. Они долгое время как зеницу ока хранили тайну устройства ролла.

Эффективность роллов на старинных бумажных мельницах была очень высока, а основной процесс – отлив бумаги – оставался ручным. Необходима была машина, которая бы сама отливала бумагу из приготовленной в роллах массы, притом не отдельными листами, а сплошной широкой лентой.

Первая бумагоделательная машина, сконструированная французом Луи Робером в конце XVIII в. (1799 г.) (самочерпка Луи Робера), была очень

примитивна (рис. 1.3). Тем не менее сам принцип, заложенный в конструкцию машины – непрерывный отлив бумажной массы на движущейся сетке, оказался прогрессивным и был использован в последующих конструкциях бумагоделательных машин.

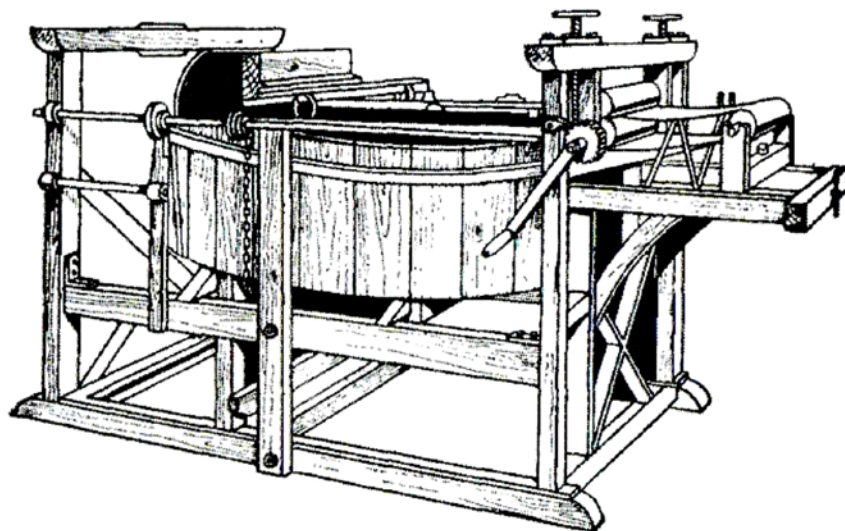


Рис. 1.3. Самочерпка Робера

Новая машина точно повторяла все операции, которые выполняли рабочие-черпальщики, потому ее и стали называть самочерпкой.

Бумагоделательная машина Робера представляла собой простейший аппарат. На деревянной станине был установлен чан для бумажной массы. Черпальный барабан зачерпывал жидкую бумажную массу из чана и подавал ее ровным потоком по дощечке на длинную медную сетку, натянутую на два деревянных валика. Сетка непрерывно двигалась от ручного привода. Вода уходила через сетку, оставшиеся на сетке волокна сплетались между собой, образуя бумажное полотно.

Из года в год самочерпку Робера непрерывно совершенствовали. Первые машины имели сеточную и прессовую части и накат для намотки бумаги.

Позже к машине приспособили сушильные цилиндры, которые первоначально обогревали изнутри углями, а затем паром.

Энергия пара и электричества превратили ее в сложный агрегат, выпускающий в одну минуту больше бумаги, чем раньше изготавливали в день сотни лучших бумажных мастеров.

Открылись неожиданные возможности для увеличения производства бумаги. Однако, поскольку бумагу делали только из тряпья, встала проблема недостатка сырья. Попытки приготовить бумагу из другого сырья (однолетних растений, соломы, коры, хлопка, листьев папоротника) не прекращались.

Идею заменить тряпье древесиной для выработки бумаги высказал в 1730 г. французский физик Р. Реомюр, а затем в 1800 г. М. Купс. Но лишь спустя 40 лет, когда бумаги требовалось еще больше, вспомнили об этом.

Но тогда никто не знал, как разделить древесину на отдельные волокна и превратить их в бумажную массу, пригодную для выделки бумаги.

Изобретателем изготовления древесной массы стал в 1843 г. немецкий ткач и переплетчик Фридрих Келлер. Он, взглянув на точильщика ножей, с помощью обыкновенного точильного камня, вручную истирая деревянную доску, приготовил древесную кашицу. Добавив воду и смешав с тряпичной массой, отлил плотную и крепкую бумагу.

Не прошло и двух лет, как была построена большая машина для механического истирания древесины – дефибрер.

В 1819 г. ученые начали проводить первые опыты изготовления бумажной массы из древесного сырья химическими способами. Для обработки древесины применяли серную и азотную кислоту, щелочь, спирт, эфир. Но ни разрушить, ни размягчить древесину не удавалось.

Только в середине XIX в. англичанин Уатт и американец Барджесс создали технологию процесса выделения из древесины клетчатки, природного полимера – целлюлозы, с помощью варки щепы в растворе едкого натра при повышенном давлении.

Следующим поколением бумагоделательных машин стала машина механика Б. Донкина, созданная в 1804 г. на фабрике Фрогмор в Хертфордшире (Англия). Эта машина имела существенные черты «длинносеточной бумагоделательной машины». Ширина данной машины составляла 1,2 м. Машина не имела сушильной части, состояла только из сеточной, прессовой частей и наката.

В начале XIX века Дикинсон разработал и запатентовал резательную машину для бумаги.

В 1843 г. Лемуел Райт разработал большой сушильный барабан. Эта машина известна как Янки-машина из-за высококачественной односторонней гладкости бумажного продукта.

Усовершенствования, введенные со временем на бумагоделательные машины:

- сушильная часть (1823 г.);
- в 1826 г. француз Кансон применил вакуум-насос для отсасывающих ящиков сеточной части (это резко повысило эффективность обезвоживания бумажного полотна на сетке и позволило повысить скорость машины);
- изобретение эгутера (ровнителя), получение бумаги с водяными знаками (1826 г.);
- введение узлоуловителей для очистки массы: плоский узлоуловитель (1829 г.) и цилиндрический (1856 г.);
- введение наряду с параллельным, продольного привода с коническими шестернями, занимающими меньшую площадь (1870 г.).

Наряду с усовершенствованием длинносеточной столовой машины в первой половине XIX столетия были сделаны и другие важные изобретения по созданию новых типов бумагоделательных машин. Так, в 1805 г. Иосиф Брама сконструировал цилиндровую машину, в 1827 г. Эдельгейзер разработал конструкцию самосъемочной машины. В этот же период было предложено несколько типов бумагоделательных машин для выработки бумаги листами.

Продвижение машинной выработки бумаги шло быстро. Вслед за Англией бумагу с помощью новейших машин начали изготавливать Германия, Россия, Франция, США, Польша, Чехия. К середине XIX в. в Англии насчитывалось 250 бумагоделательных машин, во Франции – 125, в Германии – 25.

В 1829 г. в Дании стала давать продукцию первая среди скандинавских стран бумагоделательная машина. В 1832 г. фабрика Клиппан построила первую бумагоделательную машину в Швеции. В 1838 г. фабрика Бентсе в Норвегии перешла на машинный способ производства. Бумажная фабрика Дж. Френкеля «Тампере / Таммерфорс» (Финляндия) установила первую машину в мае 1842 г.

В конце XIX и в XX вв. последовали дальнейшие усовершенствования бумагоделательной машины, которые дали возможность значительно повысить ее скорость, увеличить выработку бумаги и почти полностью автоматизировать процесс работы машины. В результате этого были созданы машины производительностью до 500 т бумаги и до 1000 т картона в сутки.

Этим успехам содействовали следующие основные усовершенствования:

1) создание многодвигательного электрического привода бумагоделательной машины, заменившего громоздкий групповой привод с ременной передачей (1908 г.);

2) замена простых линеек для напуска массы на сетку напорным ящиком высокого давления (1911 г.);

3) замена гауч-пресса отсасывающим валом (1908 г.) и внедрение отсасывающих валов в прессовой части машины;

4) создание накатов барабанного типа, заменивших неудобные фрикционные накаты, тормозившие повышение скорости бумагоделательной машины;

5) разработаны машины двухсеточного формования, чтобы избежать разбрызгивания при высоких скоростях и в целях устранения двусторонности формовки плоскосеточных БДМ;

6) самосъемное верхнее сукно (обертух) – необходимое приспособление на высокоскоростных машинах для производства тонкой бумаги. В 1952 г. Комбинат «Порт Анджелес Милл» создал первую установку отсасывающего самосъемного вала на традиционную длинносеточную бумагоделательную машину в США;

7) автоматизация управления отдельными частями машины и процессами ее работы (управление движением сеток и сукон, натяжение сукон, заправка бумаги, ведение процесса сушки бумаги, регулирование концентрации массы, ее температуры, кислотности среды, массы 1 м² бумаги и т. п.) вместе с компьютерным контролем и регулировкой всего производства.

Россия с бумагой познакомилась намного позже других стран в первой половине XIV столетия. Бумагу завезли торговые люди Древнего Новгорода и иностранные купцы. Бумагу Россия покупала итальянского, французского, английского, немецкого и голландского изготовления. Бумага собственного изготовления появилась в России во второй половине XVI века, в царствование Ивана Грозного. В архивных документах упоминается бумажная мельница в поместье Федора Савинова на реке Уче в селе Вантеевка. Предприятие Савинова изготавливала малые объемы бумаги низкого качества, которых хватало лишь на обеспечение нужд царского делопроизводства. К этому времени относится и рождение книгопечатания, созданное Иваном Федоровым. Для печатания книг нужно было все больше бумаги. Требовалась она и различным государственным учреждениям – приказам, а также для нужд артиллерии. Мельница на реке Уче просуществовала недолго, всего два-три года, не справилась с западными конкурентами и, не пережив пожара в Смутное время, прекратила работу. Жители России бумагу по-прежнему приобретали за границей, в основном в Голландии.

Следующие по времени возникновения бумагоделательные предприятия в России появляются в середине XVII в. со вступлением на престол в 1645 г. Алексея Михайловича (Тишайшего). В 1655 г. патриарх Никон, которому нужна была бумага для печатания религиозных книг, решил завести собственное производство. На реке Пахре недалеко от Москвы начали строить большую бумажную мельницу. В 1656 г. на Печатный Двор были доставлены первые 75 стоп бумаги. Весной была разрушена платина и повреждена мельница пошедшей с гор водой. В 1665 г. разрушенную мельницу сдали в аренду голландцу Ван-Сведену. Он пригласил из Германии опытных мастеров, которые должны были наладить производство и обучать русских людей, чтобы они бумагу «делать умели и без немецких мастеров и впредь бумажное дело не встало». Сведен восстановил мельницу и плотину и начал выпускать высококачественную бумагу. Теперь книги на Печатном Дворе печатали на бумаге «московского дела». Сведенская мельница стала кузницей русских кадров бумажников и полигоном для освоения технологий. В 1673 г. бумажное производство завели и в Москве, в Новой Немецкой слободе на реке Яузе. Мельница на Яузе не оправдала надежд и в 1681 г. переориентирована в пороховую. Так, пуск во второй половине XVII века двух бумагоделательных предприятий в Москве и Подмосковье не привел к возникновению массового отечественного производства бумаги. Бумаги, вырабатываемой на тех мельницах, не хватало для возрастающей потребности Московского государства, ее по-прежнему привозили из-за границы, главным образом из Франции и Голландии.

Мощный импульс развитию бумажного дела в России был дан в XVIII веке. Побывав за границей и увидев, как там делают бумагу, Петр I задумал построить отечественные бумажные мануфактуры, оборудовав их по европейскому образцу. Петр разрабатывает программу организации бумажного производства в России, которая содержала следующие меры: строить как можно больше, желательно в каждой губернии, бумажных мануфактур; выдавать государственные кредиты лицам, желающим организовать бумагоделательные

предприятия; ввести запретительные тарифы на ввоз некоторых сортов бумаги; издать законодательные акты, стимулирующие ведение делопроизводства в государственных учреждениях на отечественной бумаге.

При жизни Петра I было основано четыре бумагоделательных предприятия: мельница в селе Богородском под Москвой, основанная в 1704 г., мануфактура в Дудоровой мызе под Петербургом, основанная в 1716 г., Полотняно-Заводская мануфактура, основанная в 1718 г. в Калужской губернии, Петербургская бумажная фабрика, основанная на Галерном острове в 1721 г.

Бумажные предприятия при Петре I, в основном казенные, создавались в кратчайшие сроки в условиях войны и в первую очередь для военных нужд. Надзор за промышленными предприятиями, в том числе бумагоделательными, передается Мануфактур-коллегии.

После смерти Петра I бумажное производство постепенно стало переходить в частные руки. Бумагоделательные предприятия по типу владения и организации производства делятся на три категории:

1. Казенные, т. е. государственные.

2. Посессионные, т. е. принадлежащие купцам. Большинство мануфактур с 1725–1744 гг.

3. Помещичьи или вотчинные, т. е. организованные помещиками в собственных угодьях. В 1744 г. около 20 % от всего количества бумажных предприятий, в 1800 г. их доля составила 50 %, в 1857 году – 95 %.

К середине XVIII в. в России появилось около двух десятков частных бумажных фабрик, однако качество выпускаемой ими бумаги значительно уступало западноевропейской. В связи с этим в 1744 г. Мануфактур-коллегия организовала комиссию по проверке качества российской бумаги. Результатом работы этой комиссии стали не только закрытие ряда нерентабельных предприятий, но и расчет ежегодного объема бумаги необходимого для нужд государства.

Во второй половине XVIII в. импорт бумаги в Россию сокращается вдвое. В начале XIX в. Россия начинает экспортировать бумагу собственного производства, главным образом на Восток.

В 1816 г. в Российской империи появляется первое предприятие с машинным способом производства – Петергофская бумажная фабрика под Санкт-Петербургом (рис. 1.4). В 1818 г. при участии известного инженера испанского происхождения Августина Бетанкура в Санкт-Петербурге учреждается специальное производство по выпуску ассигнаций и государственных бумаг – Экспедиция заготовления государственных бумаг (ныне – Гознак), ставшее наиболее передовым предприятием с точки зрения технологии бумажного производства в России.

Несмотря на преимущество машинного производства бумаги, в течение 70 лет (до 1890-х гг.) в России параллельно существовали предприятия как с машинным, так и с ручным отливом бумаги. Это объяснялось отсутствием собственного бумагоделательного машиностроения, дешевизной крепостного труда и невысоким спросом на бумагу. Некоторые технологические операции, широко распространенные на Западе, не нашли применения в России.

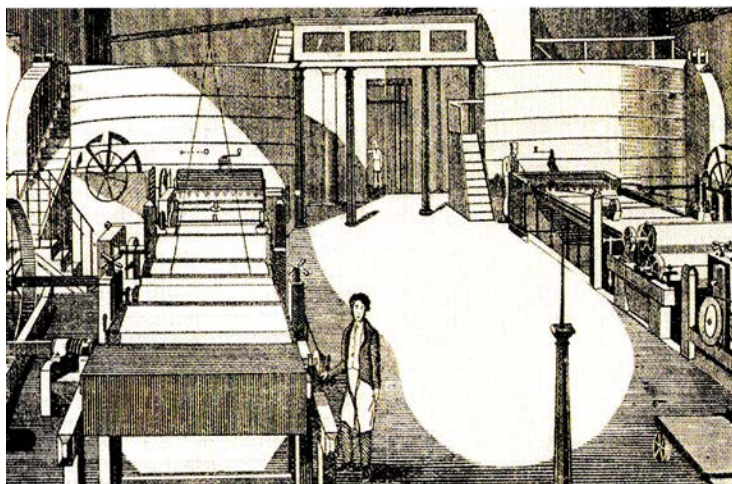


Рис. 1.4. Петергофская фабрика 1818 г.

Тряпье на русских фабриках не бучили, то есть не вываривали в щелочном растворе, а просто оставляли на гноение в кучах. Отбеливание бумажной массы газообразным хлором, известное в Европе с 1785 г., применили в нашей стране только в XIX веке.

Бумажные предприятия XVIII – начала XIX вв. были сосредоточены в центральных губерниях России – Московской, Санкт-Петербургской, Калужской, Ярославской, Вятской, а также на северо-западных окраинах империи. Причинами концентрации фабрик в центре страны стала высокая плотность населения – главного потребителя бумаги и поставщика сырья для ее выработки в виде тряпья.

В эпоху Великой экономической реформы 1861 г., имея более чем столетний опыт, целлюлозно-бумажная отрасль в России сформировалась и развилась. Перед отраслью встала задача достижения интеллектуального и технологического уровня производства развитых стран.

С переходом на использование в основном сульфитной целлюлозы с 1880-х гг. начинают строиться первые целлюлозные заводы в Риге, Петербургской и Вологодской губерниях. Быстрыми темпами начинает создаваться национальная отраслевая наука. Увеличивается число вузов, где был заложен мощнейший научный потенциал государства и сформированы инженерные кадры. На основе российского опыта появляются первые учебники и практические руководства по писчебумажному производству.

Активно развиваются такие направления, как создание новых сортов бумаги, поиск суррогатов сырья для бумажного производства, испытание бумаг, теория проклейки, теория сульфитного способа варки целлюлозы. Растет количество изобретений в области бумажного производства.

К началу XX в. целлюлозно-бумажная промышленность России проходит этап своего становления и достигает пика развития. Она приобретает характерные черты отрасли: способность к самоорганизации, возможность

координировать научно-исследовательскую деятельность, регулировать отраслевые отношения, готовить научные и инженерные кадры.

К началу Первой мировой войны экономическая отсталость царской России от высокоразвитых государств мира стала очевидной. Бумажная промышленность не могла претендовать на передовые позиции. Она полностью зависела от импортных поставок оборудования (сушильных и прессовых суков, металлических сеток, запасных частей) и целлюлозного сырья. К началу 1917 г. Россия потеряла ряд предприятий в Белоруссии, Прибалтике, Финляндии, производство бумаги в стране сильно сократилось.

Период 1915–1917 гг. стал временем постепенного распада отрасли. Целлюлозно-бумажная промышленность России находилась в тяжелейшем положении. Гражданская война еще более усугубила ситуацию в отрасли. Предприятия в массовом порядке останавливались из-за отсутствия древесины, топлива, химикатов, запасных частей. Ощущалась нехватка квалифицированных кадров. Дефицит бумаги в стране достиг небывалой величины. После развала старой экономики и собирания из ее остатков новой целлюлозно-бумажная промышленность России была поэтапно национализирована и неоднократно реорганизована.

К 1921 г. падение производства в ЦБП было остановлено. По мере ликвидации хозяйственной разрухи в начале 1922 г. начали возрастать объемы производства бумаги и картона, совершенствовалась структура управления возрождающейся отраслью.

Были приняты решения о строительстве новых фабрик, реконструкции и расширении ряда действующих предприятий. Первыми объектами нового строительства стали Балахнинский и Сясьский ЦБК. Даже сегодня поражают темпы строительства тех лет: Балахнинский комбинат заложили в 1925 г., а уже в августе 1928 г. была получена первая бумага.

За 4 года (1924–1928) производство целлюлозы выросло на 56,4 %, древесной массы – на 53,6 %, бумаги – на 36,5 %, картона – более чем в 2 раза.

В становлении отрасли наблюдались несомненные успехи и долгожданный подъем.

За период 1928–1932 гг. в эксплуатацию были введены новые высокопроизводительные бумагоделательные машины на бумажной фабрике им. Горького в Ленинграде, введены в строй Ташкентская и Елецкая фабрики, Ленинградская фабрика технических бумаг, реконструирован Окуловский комбинат. В таежной глубинке Пермской области, вдали от железных дорог, всего за 18 месяцев был построен Вишерский ЦБЗ.

С ростом производства повышалась и техническая оснащенность предприятий, улучшались их технико-экономические показатели.

В предвоенные годы (1937–1940) целлюлозно-бумажная промышленность, которая все больше опиралась на новейшие достижения в отечественном машиностроении, отличалась особым размахом работ по увеличению производства писчей и печатной бумаги, созданию мощностей по варке сульфитной целлюлозы и изготовлению на ее основе технических,

электроизоляционных, тароупаковочных видов бумаги и картона. Быстрыми темпами развивались в эти годы проектное дело и отраслевая наука.

В 1936 г. был построен Марийский ЦБК, который освободил страну от импортной зависимости в бумаге для электротехнической и радиотехнической промышленности.

В итоге, начиная с 1929 г. и до начала Великой Отечественной войны, было введено производственных мощностей в 2,5 раза превышающих общую мощность всех бумажных фабрик России (по данным на 1913 г.) и в 2,3 раза превышающих мощность ее целлюлозных заводов.

Отличительной чертой советской эпохи было приближение перерабатывающих мощностей строящихся целлюлозно-бумажных предприятий к источникам природных ресурсов, развитие национальных окраин и освоение территорий Сибири и Дальнего Востока.

Ввод и наращивание в предвоенные годы новых производственных мощностей, их освоение, новые прогрессивные формы организации труда и система подготовки рабочих кадров позволили целлюлозно-бумажной промышленности выйти на качественно новые рубежи.

Начавшаяся война нанесла значительный урон экономике страны, ее целлюлозно-бумажной отрасли. Многие предприятия были разрушены. На действующих производствах не хватало оборудования, запасных частей, химикатов, квалифицированных специалистов.

В годы войны существенно уменьшились мощности по выработке бумаги почти по всем позициям номенклатуры продукции. Отрасль была переориентирована на нужды вооруженных сил. Необходимы были: бумага конденсаторная, пропиточная, картографическая, папиросная, калька, пергамент, телеграфные ленты, прокладочный и изоляционный картон.

К концу войны общий уровень производства в ЦБП не превышал 50 % от довоенного. На предприятиях начались масштабные восстановительные работы. О закупках за рубежом дорогостоящих, сложных машин не могло быть и речи. Расчет был только на собственные силы. В ходе восстановительных работ в зависимости от потребностей страны зачастую менялся и профиль предприятий. Так, Нижнеднепровская фабрика начала выпускать типографскую и писчую бумагу вместо оберточной. Для восстановления разрушенных предприятий потребовалось около 4 лет.

К 1960 г. общий парк машин на предприятиях ЦБП составил 123 единицы. По сравнению с 1940 г. объем производства бумаги в стране вырос в 2,3 раза и составил 2 334 тыс. т. Производство картона увеличилось в 5,8 раза, а целлюлозы – в 3,8 раза.

Почти весь послевоенный период восстановления и развития ЦБП страны носил экстенсивный характер и к концу 50-х на этом пути все возможности и резервы были практически исчерпаны. Требовались новые подходы к развитию отрасли.

В 1960 г. в целях преодоления отставания целлюлозно-бумажной промышленности руководством страны были определены главные направления технической и инвестиционной политики отрасли. Повышение

производственного потенциала отрасли и ее экономической эффективности предполагалось осуществить за счет внедрения новых, более совершенных процессов, таких как производство сульфатной целлюлозы в аппаратах непрерывной варки, нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы на аппаратах «Пандия», а также современной системы регенерации химикатов, обеспечивающей их значительную экономию.

Предполагалось расширить ассортимент производимой продукции для удовлетворения растущего спроса потребительского рынка в следующих видах бумаги: бумага для печати и технических нужд, упаковки товаров народного потребления, тарный картон, древесноволокнистые плиты и многое другое.

Была разработана система мер по развитию бумагоделательного машиностроения, химической промышленности с учетом потребности ЦБП в оборудовании и химикатах. Была проведена коренная реконструкция заводов и институтов. В 1976 г. суммарная мощность заводов по изготовлению оборудования для ЦБП возросла более чем в 9 раз по сравнению с 1960 г. Совместно с иностранными машиностроителями было освоено производство сушильных машин с большой шириной полотна и технологических линий для производства коробочного картона.

Впервые была определена задача комплексного использования древесины с учетом применения отходов лесопиления и деревообработки. Особое внимание уделялось кадровому укреплению проектных организаций и расширению сети учебных заведений.

Развитие ЦБП в период с 1961 по 1970 гг. характеризовалось высокими темпами роста. За это время производство целлюлозы по варке увеличилось в 2,2 раза, древесной массы – в 1,7, бумаги – в 1,8, картона – в 2,8.

В 70-е годы были модернизированы Архангельский, Сегежский, Кондопожский, Соликамский ЦБК. Построены крупнейшие предприятия: Котласский и Байкальский ЦБК, Братский и Усть-Илимский ЛПК, после ввода которого и до настоящего времени строительства других крупных объектов в отрасли не было. Были реконструированы единственные в стране Краснокамский завод металлических сеток и Свердловский завод дефибрерных камней. Это позволило значительно снизить импорт оборудования и практически отказаться от закупки сеток и камней.

В эти же годы были проведены реконструкция и техническое перевооружение Светогорского и Выборгского ЦБК. На Светогорском комбинате были введены завод ацетатной целлюлозы, технологический поток по производству товарной блененной лиственной сульфатной целлюлозы на установке непрерывной варки. Выборгский ЦБК стал специализированным предприятием по производству широкого ассортимента упаковочных материалов на основе бумаги с покрытием полиэтиленом.

Произошли заметные положительные сдвиги в структуре ЦБП. Удельный вес сульфатной блененной целлюлозы в производстве волокнистых полуфабрикатов увеличился в 1,5 раза. Высокими темпами рос выпуск печатных видов бумаги, качественного коробочного картона.

В соответствии с мировыми тенденциями развивалось и производство целлюлозы из лиственной древесины, термомеханической и химико-термомеханической массы.

В 1980 г. СССР занимал 4 место в мире по производству целлюлозы, бумаги и картона. Доля отечественных бумаги и картона в мировом производстве составляла 5,2 %. Своего максимума в развитии целлюлозно-бумажная промышленность страны достигла в 1988 г. Производство бумаги и картона составило 10 881 тыс. т. СССР вошел в число лидеров мирового целлюлозно-бумажного сообщества.

В результате смены экономического строя в стране промышленное производство к 1995 г. снизилось до уровня 1960 г. и в настоящее время отрасль все еще не достигла уровня производства целлюлозно-бумажной продукции 1988 г., несмотря на среднемировые темпы его прироста.

1.2. Общая технологическая схема производства бумаги и картона

Бумага и картон представляют собой упруго-пластичный, капиллярно-пористый композиционный материал, состоящий преимущественно из обработанных волокон растительного происхождения, соединенных межволоконными связями в листовую форму.

Некоторое значительно меньшее по объему количество бумагоподобных композиционных материалов состоит из волокон нерастительного происхождения – синтетических, минеральных и других видов волокон, неспособных к межволоконному связеобразованию без использования связующих веществ различного вида.

Принципиальных различий между бумагой и картоном в технологическом плане нет. Различие существует в использовании этих материалов. Бумага, как правило, гибкий лист, картон – преимущественно жесткий плоский материал.

Производство бумаги и картона осуществляется, главным образом, на крупных предприятиях, основными производящими агрегатами на которых являются бумаго- и картоноделательные машины (БДМ и КДМ). При этом существуют целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК), где организовано интегрированное производство продукции из древесины до бумаги и картона, и бумажные фабрики (БФ), где бумага и картон производятся из готовых сухих волокнистых материалов, поступающих из ЦБК. В настоящее время значительное количество БФ в качестве сырья используют вторичные волокна (макулатуру), поступающую на производство в виде бывших в употреблении изделий на основе бумаги и картона.

В условиях ЦБК волокно на производство бумаги и картона поступает по трубопроводам жидким потоком, на БФ необходим роспуск сухих волокнистых полуфабрикатов, в том числе макулатуры в специальных аппаратах – гидроразбивателях.

На дальнейшую обработку волокна поступают в виде волокнистой суспензии, называемой бумажной массой (БМ), содержащей значительное количество воды и способной транспортироваться по трубопроводам с использованием перекачивающей аппаратуры.

Свежие волокнистые материалы, поступающие на производство бумаги и картона в условиях ЦБК жидким потоком, либо на БФ как готовые волокнистые полуфабрикаты, подвергают размолу в присутствии воды в размалывающих аппаратах различной конструкции. При этом различные волокнистые полуфабрикаты, как правило, размалываются отдельно, а затем, если бумага или картон имеют сложную композицию, смешиваются в композиционном бассейне в необходимых пропорциях. В композиционный бассейн также поступает оборотный брак, образующийся при работе БДМ и КДМ, который также дозируется в допустимом количестве.

В случае использования вторичного волокна технологическая схема значительно усложняется (рис. 1.5). Требуется предварительное грубое сортирование для удаления крупных неволокнистых включений на стадии роспуска и в специальных сортирующих аппаратах. Далее макулатурная масса (ММ), как правило, проходит стадию фракционирования для разделения длинных и коротких волокон, а затем размол в основном длинноволокнистой фракции.

В волокнистую массу после размола при необходимости вводят наполнители (белые пигменты), проклеивающие, отбеливающие, окрашивающие вещества. При дальнейшем прохождении волокнистой массы по технологическому потоку вводят различные химические вспомогательные вещества – связующие, флокулирующие, фиксирующие, биоцидные и другие реагенты.

Готовая БМ с регулируемой концентрацией аккумулируется в машинном (расходном) бассейне и направляется на разбавление оборотной водой, сортирование для удаления мелких тяжелых включений (песок) и нераспущенных волокон (узелков), деаэрацию.

Далее БМ через потокораспределитель направляется в напускное устройство (напорный ящик) и поступает в сеточную часть БДМ либо КДМ.

В сеточных частях различной конструкции из разбавленной волокнистой суспензии осаждаются волокна, и удаляется основная часть воды (96–99 %).

Влажное полотно поступает в прессовую часть, далее в сушильную часть. При необходимости сухая бумага или картон (90–92 % сухого вещества) подвергается поверхностной обработке (поверхностная проклейка, специальное нанесение, пигментация, легкое мелование), затем досушивается до остаточной влажности 5–8 %, охлаждается и увлажняется, подвергается в соответствии с

требованиями машинной отделке (машинный либо мягкий каландр) и поступает на накат. Бумага либо картон машинной отделки может подвергаться суперкаландрированию для повышения плотности и гладкости. Также бумага и картон после наката при необходимости поступает на специальное оборудование для нанесения различных пропиток и покрытий, для среднего или полного мелования, для соединения с другими видами бумаги и картона либо полимерными материалами.

Готовую бумагу или картон разрезают на рулоны требуемых форматов на продольно-резательных станках. Некоторые виды бумаги и картона разрезают на узкие ленты (бобины) на бобинорезках. Также бумагу (в основном печатную) разрезают на листы различных форматов, которые затем сортируются и упаковываются. Ролевую бумагу также упаковывают и отправляют на склад.

Отходящую на БДМ и КДМ воду (оборотную), содержащую мелкие волокна, наполнители и проклеивающие вещества, химические реагенты, используют для разбавления в смесительных устройствах и для роспуска сухих волокнистых полуфабрикатов (свежих и вторичных). Избыточная оборотная вода поступает на массаулавливающую аппаратуру. Уловленные взвешенные вещества (скоп) используются в производстве. Осветленная вода также может частично использоваться для технологических нужд, большая часть осветленной воды при достижении требуемых параметров по содержанию оставшихся взвешенных веществ передается на очистные сооружения предприятия.

Товарная бумага и картон подвергается дальнейшей переработке в различные изделия. Наиболее массовым из них является производство гофрокартона и ящичной тары, изготавливаемой из картона для плоских слоев (картон-лайнер) и бумаги для гофрирования (флутинг). Санитарно-гигиеническая бумага перерабатывается на рулончики туалетной бумаги, салфетки, полотенца и т. д. (конвертинг).

Существуют производства, где бумага-основа претерпевает активное физико-химическое воздействие (растительный пергамент, фибра). В целом переработка бумаги и картона весьма разнообразна, что значительно расширяет ассортимент товаров на их основе.

1.3. Классификация бумаги и картона

Основным принципом, положенным в основу классификации бумаги и картона, является назначение этих материалов.

В настоящий период времени в мире выпускается не менее 600 видов бумаги и картона. При этом многие виды бумаги и картона, главным образом массовые, подразделяются на различные марки и сорта, которые и составляют данный вид бумаги или картона. Точного количества видов бумаги и картона назвать не представляется возможным, так как некоторые виды продукции становятся невостребованными и их выпуск прекращается, другие возникают вновь. Так, за последние десятилетия прекращен или существенно сокращен выпуск таких материалов, как светочувствительная бумага, комплекс материалов для фотографии, перфокарточная бумага и телеграфная лента, копировальная и переводная бумага, конденсаторная, телефонная, намоточная, каландровая, чертежная прозрачная, диффузорная, шелковка, микалентная и другие.

К исчезнувшим видам картона следует отнести картон чемоданный, околышный, галантерейный, для циферблатов, для радиоприемников, билетный, для стереотипных матриц и другие.

В то же время появляются и весьма востребованные материалы, например офисная бумага, в том числе для принтеров и ксерокса, бумага для печати цифровых изображений, картон для плоских слоев гофрокартона с верхним белым слоем, в том числе мелованный, новые виды мешочной, санитарно-гигиенической, упаковочной бумаги с различными покрытиями, облицовочный картон для плит «Гипрок» и т. д.

В связи с вышеизложенным вряд ли будет информативной классификация бумаги на 10–11 классов и картона на 6–7 групп, как это представлено в ранее выпущенных учебных пособиях, поскольку любая классификация достаточно быстро становится неактуальной.

Более рациональным представляется выделение крупных, постоянно востребованных классов продукции, охватывающих большую часть общего объема производства бумаги и картона. К таким классам следует отнести тароупаковочные материалы – 50–55 % всего выпуска и бумагу для печати и письма – 30–35 % выпуска.

К тароупаковочным материалам, прежде всего, следует отнести гофрокартон и материалы для его изготовления – картон для плоских слоев гофрокартона (картон-лайнер) и бумагу для гофрирования (флутинг), коробочный картон, спичечный картон, мешочная бумага, пачечная бумага, различные виды упаковочной бумаги, растительный пергамент, подпергамент, облицовочный картон, переплетный картон и т. д.

К классу бумаги для печати и письма относятся офсетная бумага, газетная бумага, офисная бумага, печатная мелованная бумага, чертежная бумага, рисовальная и альбомная бумага, писчая, тетрадная, почтовая, карточная, для блокнотов и записных книжек, бумага для реклам, постеров, баннеров, афиш, для

печати цифровых изображений, журнальная мелованная, картографическая, регистрационная, калька, документная, банкнотная. К этому же классу следует отнести обойную бумагу различных видов, декоративную для облицовки мебельных плит и различных пластиков, другие виды бумаги.

Эти два класса составляют 85–90 % всего объема бумаги и картона. Оставшийся объем – прочие виды бумаги и картона, из которых наиболее представительными являются санитарно-гигиенические виды бумаги (тисью продукция), фильтровальные виды бумаги и картона, электроизоляционные виды бумаги и картона, промышленно-технические виды бумаги и картона из растительных, синтетических, минеральных и других видов волокон.

Виды бумаги и картона, не вошедшие в первые два класса, наиболее многочисленные, но считающиеся малотоннажной продукцией.

Все вышеперечисленные, а также иные отдельные виды бумаги и картона имеют различные потребительские свойства, выполнение которых достигается специальными технологическими и техническими приемами. Их изучение и составляет цели и задачи курса «Технология бумаги и картона». К таким определяющим факторам относятся выбор волокнистых полуфабрикатов, проведение массоподготовительных процессов, в том числе размол волокон, процессы проклейки, наполнения, окрашивания, введения различных химических вспомогательных веществ, операции сортирования, напуска, отлива, прессования, сушки, поверхностной обработки, каландрирования и отделки, использование оборотного брака и оборотной воды.

Следовательно, свойства бумаги и картона определяются выбором их композиции и технологией на каждой стадии производства.

1.4. Основные свойства бумаги и картона

Свойства бумаги и картона выражаются через определенные показатели, достаточно различные в зависимости от назначения бумаги и картона. Цифровые показатели различных видов бумаги и картона являются содержанием технических требований в стандартах, технических условиях и другой научно-технической документации.

Показатели и характеристики бумаги и картона весьма многочисленны и разнообразны, поэтому существует необходимость их объединения в перечень свойств, выполненный по принципу соответствия отдельных групп показателей, данной области свойств.

Исходя из широко используемых в настоящее время показателей и характеристик бумаги и картона, они могут быть представлены в следующем перечне основных свойств:

- Структурно-размерные показатели.

К ним следует отнести формат, массу 1 м² бумаги или картона, толщину, плотность (объемную массу), равномерность макроструктуры и др.

- Механические и деформационные свойства.

Разрывная длина, сопротивление разрыву, излому, продавливанию, раздиранию, сжимаемость, упругость, растяжимость, плоскостное сжатие (для флутинга), сжатие на коротком расстоянии, жесткость, деформация при увлажнении и остаточная деформация и др.

– Капиллярные и гигроскопические свойства.

Влажность, степень проклейки, впитывающая способность, водопоглощение, гигроскопичность, пористость, начальная и конечная влагопрочность и др.

– Оптические свойства.

Белизна, светопроницаемость, прозрачность, укрывистость, непрозрачность, лоск, яркость, цветность и др.

– Печатные свойства.

Гладкость, структура поверхности, красковосприятие, печатная мягкость, сопротивление выщипыванию, пылимость, разносторонность, содержание наполнителя и пигмента (зольность) и др.

– Фильтрующие свойства.

Сопротивление потоку воздуха, герметичность, коэффициент проницаемости по масляному туману и латексным частицам, эффективность фильтрации, пылеемкость, скорость фильтрации и др.

– Электроизоляционные свойства.

Термостойкость, химическая чистота, число токопроводящих включений, удельное объемное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, токопробивное напряжение и др.

– Особые свойства бумаги и картона.

Долговечность, светостойкость, реставрационные свойства, бактерицидные, антикоррозионные свойства, хемо- биостойкость, огнестойкость, (газо-, паро-, водо-, аромато-, жиро-, непроницаемость), воздухопроницаемость, устойчивость к действию агрессивных сред и другие барьерные свойства.

1.5. Волокнистые материалы, используемые в бумажно-картонном производстве

Структурной основой для бумаги и картона являются волокна. Более 98 % волокон, используемых для производства бумаги и картона, составляют растительные волокна. При этом преобладающим видом растительных волокон являются древесные волокна.

Древесина как любой биологический объект имеет клеточную структуру. Клетки древесины в зависимости от породы имеют различное строение. Морфология древесины достаточно подробно описана в классических монографиях по химии древесины, а также в учебниках по технологии бумаги

С. Н. Иванова и Д. М. Флятте. Источником волокон, используемых в производстве бумаги и картона, является клеточная стенка – наиболее прочный материал древесины, представляющий собой лигноуглеводный комплекс.

Различие между хвойными и лиственными породами древесины играет весьма существенную роль в свойствах волокон, используемых для производства бумаги и картона. Прежде всего, это касается важнейшей характеристики волокнистых полуфабрикатов – длины волокна. Длина волокна в значительной степени зависит от размеров клетки. В хвойной древесине клетки более крупные по длине (2,5–3,0 мм), в лиственной древесине клетки примерно вдвое меньше (1,2–1,5 мм). Поскольку волокно представляет собой деструктированную в различной степени клеточную стенку, размеры волокон на основе хвойной и лиственной древесины также примерно вдвое различаются по средней длине. Средняя длина исходного целлюлозного волокна на основе хвойных пород – 2,1–2,3 мм, на основе лиственных пород – 1,0–1,2 мм. Следует учитывать, что в волокнистых полуфабрикатах присутствует набор волокон различной длины: для хвойной целлюлозы – от 0,2 мм до ~ 5,0 мм, для лиственной – от 0,1 мм до ~ 3,0 мм. Для технологов основной интерес представляет фракционный состав по длинам волокон с указанием доли каждой фракции. В настоящее время определение фракционного состава достаточно быстро осуществляется на приборах типа «файбер-тестер». При этом одновременно определяется диаметр волокна, отношение длины волокна к диаметру, форма волокна, наличие изгибов, грубость волокон и другие параметры.

Основную массу хвойной древесины составляют трахеиды, сильно вытянутые в длину клетки (90–99 %). Лиственная целлюлоза в зависимости от вида древесины может содержать от 10 до 20 % по массе растительных клеток неволокнистого строения.

За последние 30–40 лет произошли значительные изменения структуры производства волокнистых полуфабрикатов в мире (таблица 1.1). Основная тенденция – снижение доли древесной целлюлозы и существенный рост использования вторичных волокон в мировом балансе волокнистых полуфабрикатов.

На основе растительных волокон производятся различные волокнистые полуфабрикаты. Они отличаются друг от друга, прежде всего, видом растительного сырья (хвойная, лиственная древесина, однолетние растения), а также технологией производства (способы получения, выход волокна, наличие либо отсутствие отбелки).

Особый полуфабрикат, наиболее распространенный в настоящее время – макулатура или вторичное волокно. Макулатура изготавливается и используется в соответствии с действующим стандартом, где вторичное волокно в зависимости от источника и качества делится на три крупные группы, каждая из которых поделена на соответствующие марки.

Таблица 1.1 – Изменение структуры производства волокнистых полуфабрикатов в мире с 1980 до 2020 гг.

Вид полуфабриката	В % от общего объема				
	1980	1990	2000	2010	2020
Макулатура	28	32	44	48	51
Недревесная целлюлоза	3	4	4	4	4
Полуцеллюлоза из древесины	2	1	1	1	1
Механическая древесная масса	17	16	11	9	8
Химическая древесная целлюлоза	50	47	40	38	36

1.5.1. Целлюлоза из хвойных пород древесины

Целлюлоза из хвойных пород древесины (сосна, ель, лиственница) благодаря фракционному составу с преобладанием сравнительно длинных волокон и высокой прочности индивидуальных волокон является наиболее ценным полуфабрикатом, во многом обеспечивающим прочность бумаги и картона. Длинные волокна хвойной целлюлозы образуют армирующую структуру бумажного и картонного полотна, даже в случае их невысокого содержания в композиции материала.

Если прочность бумаги сравнительно невысока, достаточно в составе иметь 10–25 % хвойной целлюлозы. При этом прочные виды бумаги и картона содержат хвойной целлюлозы значительно больше (мешочная бумага – 100 %, крафтлайнер – 65–100 %).

Основным способом получения хвойной целлюлозы является щелочная делигнификация, в результате производится сульфатная хвойная целлюлоза. Сырьем для производства является технологическая щепка, получаемая из окоренных балансов хвойных пород древесины. Значительное количество щепы для получения хвойной целлюлозы поступает в виде готовой технологической щепы от лесопильных производств. Процесс делигнификации происходит преимущественно в котлах непрерывной варки («Камюр») и частично в периодических котлах. Делигнифицирующим реагентом является белый щелок – раствор, содержащий гидроксид натрия (NaOH) и сульфид натрия (Na₂S). Расход активной щелочи (NaOH + Na₂S) зависит от требуемой степени делигнификации и составляет 15–22 % (в ед. Na₂O) к массе абсолютно сухой древесины.

После загрузки в котел щепы пропитывается варочным щелоком, а температуру повышают до 155–175 °С. В процессе непрерывной варки щепы подается в верхнюю часть установки, и по мере передвижения сверху вниз происходит процесс делигнификации с переходом лигнина в раствор (черный щелок), и получения делигнифицированного волокна (целлюлоза), которое выгружается через нижнюю часть установки непрерывного действия. Черный щелок передается на упаривание и последующее сжигание в содорегенерационном котле (СРК). В дальнейшем плав, полученный в СРК, проходит стадию растворения, образования зеленого щелока, каустизации гидроксида кальция и получения вновь белого щелока, поступающего на варку.

Целлюлоза после варки проходит стадию промывки и далее идет либо на производство картона или бумаги в небеленом виде, либо на стадию отбелки для получения беленой целлюлозы.

В зависимости от режима варки и породы древесины получают целлюлозу различного выхода. Для наиболее распространенных хвойных пород древесины плотность в абсолютно сухом состоянии в кг/м³ составляет для ели 435, сосны – 470, лиственницы – 650.

Выход сульфатной целлюлозы из хвойных пород составляет, в %:

Высокого выхода (крафтлайнер) 50–100

Жесткой (мешочная, упаковочная бумага) 46–50

Нормальной жесткости 42–48

Среднемягкой (беленой) 38–42

Предгидролизной 33–37

Следует отметить, что в условиях Сибири выход целлюлозы из древесины в среднем на 5–10 % меньше, чем для предприятий, расположенных в европейской части страны, вследствие более высокого содержания в сибирской древесине экстрактивных веществ и соответственно более низкого относительного содержания целлюлозы.

Таким образом, в настоящее время сульфатная хвойная целлюлоза как в беленом, так и в небеленом виде является основным структурообразующим видом волокна, обеспечивающим прочностные и деформационные свойства бумаге и картону. Без длинных волокон сульфатной хвойной целлюлозы не производится практически ни один вид массовой продукции, включая как писчебечатные, так и тароупаковочные материалы.

Значительно в меньшей мере в производстве бумаги и картона используется сульфитная целлюлоза. Ее доля в целлюлозных полуфабрикатах нормального выхода составляет менее 2 %. В то же время в первой половине 20-го века сульфитная хвойная целлюлоза являлась преобладающим полуфабрикатом.

К определенным преимуществам сульфитной целлюлозы следует отнести более светлый цвет небеленой целлюлозы по сравнению с сульфатной целлюлозой, что приводит к значительно меньшим затратам на отбелку. Сульфитная целлюлоза в небеленом виде успешно используется для производства газетной бумаги (в сочетании с хвойными механическими массами). Кроме того, выход сульфитной целлюлозы для отбелки составляет 50–

51 %, а это выше, чем выход сульфатной белимой целлюлозы. Сульфитная беленая целлюлоза по своим морфологическим характеристикам хорошо соответствовала производству писче-печатных видов бумаги и была основным полуфабрикатом для этой цели, пока не проиграла конкуренцию сульфатной беленой лиственной целлюлозе в 60-х годах 20-го века.

Основными недостатками сульфитного процесса производства целлюлозы являются следующие.

Использование для варки только еловой древесины. Применение иных хвойных пород древесины, в частности сосны, приводит к значительным смоляным затруднениям, поскольку в кислой среде (варка сульфитной целлюлозы происходит при pH 2,0–2,5) смоляные кислоты древесины не переходят в раствор, а остаются в основном на волокне. Сосна содержит смоляных кислот значительно больше, чем ель, и смоляные затруднения практически исключают ее использование в сульфитном процессе.

Нецелесообразность варки по сульфитному способу лиственных пород древесины связана с их короткими волокнами. В процессе кислой сульфитной варки высока вероятность кислого гидролиза, что приводит к еще большему укорочению волокон, и полуфабрикат теряет свою ценность для производства бумаги и картона.

Отсутствие оптимальной системы регенерации химикатов. В процессе сульфитной варки используется в качестве варочного реагента сульфитная кислота H_2SO_3 (раствор SO_2 в воде) с содержанием основания (оксиды Ca, Na, Mg, NH_4). Сульфитная кислота взаимодействует с лигнином древесины и превращает его в растворимые лигносульфонаты. Оксиды щелочных и щелочноземельных металлов необходимы для нейтрализации органических кислот древесины, выделяющихся в процессе варки во избежание увеличения кислотности среды до pH 1,0–1,5, что приводит к обратному высаживанию лигнина на волокнах целлюлозы (так называемая «черная варка»). Регенерация химикатов из сульфитного щелока практически невозможна. Экономическая состоятельность сульфитного процесса связана, помимо получения целлюлозы, с выделением из сульфитного щелока лигносульфонатов и редуцирующих веществ – углеводов, перешедших в раствор. Лигносульфонаты являются товарным продуктом и находят применение в ряде производств (дорожное строительство, процессы бурения, фармацевтика и т. д.). Редуцирующие вещества используют для получения, в частности, кормовых дрожжей.

В отличие от сульфатного процесса для сульфитной варки не разработан непрерывный способ получения сульфитной целлюлозы и используются периодические варочные котлы. Вероятнее всего, это связано с неперспективностью развития сульфитного процесса. Следует отметить, что в настоящее время не проектируются и не строятся предприятия по производству сульфитной целлюлозы. Работают только комбинаты, построенные в 20–30-х годах 20-го века.

В целом бумагообразующие свойства сульфитной целлюлозы уступают таковым для сульфатной хвойной целлюлозы. Для сульфитной целлюлозы характерна лучшая способность к размолу и формированию более равномерной

структуры по сравнению с сульфатной. Однако решающее преимущество сульфатной целлюлозы связано с более длинным и более прочным волокном, что приводит и к более высокой прочности бумаги и картона.

1.5.2. Целлюлоза из лиственных пород древесины

Основным целлюлозным полуфабрикатом из лиственных пород древесины является сульфатная беленая целлюлоза. Чаще всего для производства целлюлозы используют древесину березы, осины, реже тополя, бука, акации. В настоящее время больше всего сульфатной лиственной целлюлозы производится из эвкалипта. Область его произрастания – южные широты, в Европе – Испания, Португалия. Главные производители эвкалиптовой целлюлозы – страны Латинской Америки (Бразилия) и Юго-Восточная Азия.

Эвкалипт – быстрорастущее дерево, возраст его продуктивного использования 8–10 лет. Для сравнения подобный возраст для березы и осины – 40–50 лет.

Основное отличие лиственной целлюлозы от хвойной – более короткие волокна. В исходной лиственной беленой целлюлозе средняя длина волокна – 1,0–1,4 мм. Поэтому прочность бумаги и картона, содержащих лиственную целлюлозу, значительно меньше, чем у материалов на основе хвойной целлюлозы. На практике ни один вид продукции, даже с самой низкой прочностью (санитарно-гигиенические, впитывающие виды бумаги) не выпускается из 100 % лиственной целлюлозы. В то же время лиственная беленая сульфатная целлюлоза – основной компонент писче-печатных видов бумаги, обеспечивающий высокую равномерность макроструктуры бумажного листа и оптимальные печатные свойства бумаги.

Помимо писче-печатных видов бумаги беленая сульфатная лиственная целлюлоза широко используется в производстве санитарно-гигиенических видов бумаги с целью придания высокой впитывающей способности и мягкости. Кроме того, сульфатная беленая лиственная целлюлоза является компонентом верхнего белого слоя в производстве тестлайнера, крафтлайнера и коробочного картона.

Процесс варки лиственных пород древесины происходит в более мягких условиях по сравнению с хвойной древесиной, то есть с более низкой температурой, меньшими расходами реагентов и за более короткое время. Связано это с большей доступностью лигнина лиственных пород древесины, что приводит к облегченной делигнификации. С этим же связана и более мягкая отбелка лиственной целлюлозы. Выход белимой лиственной целлюлозы составляет 48–49 %.

В целом в мировом балансе полуфабрикатов в настоящее время лиственной сульфатной целлюлозы производится больше, чем хвойной сульфатной целлюлозы. Связано это со значительно большим распространением в мире лиственных пород древесины, а также совершенствованием технологии использования лиственной древесины, позволяющей в определенной степени компенсировать меньшую прочность лиственной целлюлозы.

1.5.3. Волокнистые полуфабрикаты высокого и сверхвысокого выхода

К полуфабрикатам высокого и сверхвысокого выхода относится целлюлоза высокого выхода (50–60 %), полуцеллюлоза (выход 65–80 %), механическая масса (выход 80–95 %).

Целлюлоза высокого выхода (ЦВВ) производится главным образом по сульфатному процессу. Выход ее из древесины хвойных пород может колебаться от 50 до 60 %, чаще всего составляет 54–56 %. ЦВВ содержит значительное количество лигнина (12–18 %) и сохраняет после варки форму щепы. В связи с этим ее после варки подвергают горячему механическому размолу в дисковых рафинерах.

ЦВВ может быть получена без принципиальных изменений технологии сульфатной варки варьированием значений основных параметров варки – температуры, расхода активной щелочи, продолжительностью процесса в целом, а также отдельных стадий.

ЦВВ используется главным образом и в значительном количестве для производства крафтлайнера (65–85 %) и полукompозитного флютинга (15–30 %). Высокая жесткость ЦВВ (каппа 56–60) способствует повышенной жесткости лайнера и флютинга на изгиб, что обеспечивает требуемые деформационные свойства боковым стенкам картонной тары и каркасность, и штабелируемость картонных ящиков.

Полуцеллюлозу по выходу из древесины и свойствам можно охарактеризовать как продукт, стоящий между механической массой и ЦВВ. Полуцеллюлозу можно получить как из хвойных, так и лиственных пород древесины, при этом характер исходного сырья сказывается не только на свойствах полуцеллюлозы, но и на технологии ее получения.

Процесс производства полуцеллюлозы включает последовательную химическую и механическую обработку. Химическая обработка, как правило, ведется при таких же температурах, как и варка целлюлозы, но с меньшим расходом химикатов. В настоящее время для получения полуцеллюлозы наиболее широко используются нейтрально-сульфитный и бисульфитный способ делигнификации.

В процессе варки из древесины удаляется 30–50 % лигнина и 30–40 % гемицеллюлоз. После варки полуцеллюлоза в присутствии варочных химикатов подвергается механическому так называемому полумассному размолу и последующей промывке. При этом происходит дальнейшая потеря лигнина и мелкого волокна. Благодаря высокому содержанию пентозанов и гемицеллюлоз полуцеллюлозы из лиственных пород древесины, несмотря на меньшую длину волокна по сравнению с хвойными породами, оказывается более приемлемым полуфабрикатом для флютинга и лайнера. Показатели механической прочности полуцеллюлозы хуже, чем целлюлозы высокого выхода, однако ценным свойством является повышение прочности при малых степенях помола (10–12 °ШР), что способствует лучшему обезвоживанию в сеточной части.

Основное применение полуцеллюлозы – бумага для гофрирования (полуцеллюлозный флутинг), около 80 % в композиции и картон-лайнер на основе свежего волокна – 25–35 % в композиции.

К полуфабрикатам сверхвысокого выхода относятся различные механические массы – химико-термомеханическая масса (беленая и небеленая), термомеханическая масса, дефибрерная древесная масса (белая). Выход механических масс составляет 85–95 %.

Химико-термомеханическая масса производится на основе как лиственных, так и хвойных пород древесины.

Лиственная химико-термомеханическая масса, как правило, используется в беленом виде в композиции писче-печатных видов бумаги, белого верхнего слоя топ-лайнера, коробочного картона. Химико-термомеханическая масса из хвойных пород древесины, главным образом ели, входит в состав композиции газетной бумаги, лайнера и флутинга, в беленом виде в составе писче-печатных видов бумаги, верхних белых слоев картона, высококачественных упаковочных видов бумаги.

Производство химико-термомеханической массы (ХТММ) осуществляется путем пропитки щепы раствором сульфита натрия (Na_2SO_3) в присутствии щелочи (NaOH). Пропитанная пропаренная щепа поступает на полумассный размол в рафинеры высокой мощности (20–35 мвт), затем на промывку, разволокнение. ХТММ на основе хвойных пород древесины жидким потоком направляется на производство газетной бумаги. Для получения беленой ХТММ осуществляется отбелка с использованием пероксида либо гидросульфита натрия, затем аэрофонтанная сушка и упаковка хлопьев БХТММ в кипы для получения товарного продукта. БХТММ на основе хвойных пород древесины используется в композиции писче-печатных видов бумаги и белых слоев топ-лайнера.

Термомеханическая масса (ТММ) производится путем пропаривания щепы и интенсивного размола в мощных дисковых рафинерах при высокой температуре. При этом делигнифицирующих реагентов не применяется. Выход ТММ на 3–4 % выше, чем ХТММ, прочность – ниже. Используется в основном в производстве газетной бумаги, книжно-журнальной бумаги невысоких сортов, внутренних слоях картонов.

Дефибрерная древесная масса (белая древесная масса) производится путем истирания пропаренного елового баланса (обрезков еловых стволов длиной 1,0–1,2 м) на специальных керамических камнях цилиндрической формы с насечкой по боковой поверхности канавок глубиной в среднем 2–3 мм. Полученная древесная масса обладает низкой прочностью особенно по сопротивлению излому и раздиранию, но при этом белизной 50–60 %, что приемлемо для газетной бумаги. Из-за низкой прочности и высокой энергоемкости процесса данный полуфабрикат следует отнести к неперспективным. В то же время выход волокна достаточно высокий – 94–96 %. Основное применение белой древесной массы – газетная бумага.

1.5.4. Волокнистые полуфабрикаты на основе однолетних растений

К группе целлюлозных полуфабрикатов на основе однолетних растений следует отнести хлопковые, льняные, пеньковые волокна. При этом длиноволокнистые структуры этих растений, используются преимущественно в текстильном производстве. Для производства бумаги применяются коротковолокнистые (5–6 мм) хлопковые линтерные волокна, льняные и пеньковые очесы.

Для получения хлопковой целлюлозы волокна линтера подвергают обработке щелочью для снятия жировосковой пленки и отбелке с использованием пероксида. Хлопковая целлюлоза по своему химическому составу представляет почти чистую α -целлюлозу (96–98 %) с содержанием гемицеллюлоз меньше 1 % и золы меньше 0,3 %. Белизна хлопковой целлюлозы после отбелки составляет 90–95 %.

Хлопковые волокна, как льняные и пеньковые, обладают высокой одиночной прочностью, поскольку сохраняют природную структуру и практически не деструктурированы.

По этой же причине природные волокна требуют повышенных расходов энергии на размол, с трудом гидратируются и фибриллируются. Однако бумажная масса из этих волокон дает плотную, прочную бумагу высокого качества. Хлопковые волокна используются чаще для документных и банкнотных видов бумаги, обладающих высокой износостойкостью и малой деформируемостью.

К другой группе волокон на основе однолетних растений относятся волокна из соломы злаковых растений (рожь, пшеница, овес, рис и другие злаки), стебли тростника, багассы, кукурузы, хлопчатника, эспарго, джута, рами и подобных растений. К этой же группе следует отнести ветви кустарников различной породы и однолетние побеги бамбука.

По анатомическому строению и химическому составу эти стебли и побеги имеют много общего. Они состоят из растительных клеток различного строения, формы и размеров, в основном коротковолокнистых и тонкостенных лубяных волокон.

Средняя длина волокон злаковых 1,0–1,5 мм. Более длинные волокна – до 5–6 мм характерны для джута, рами и некоторых других южных растений.

Содержание волокон, пригодных по своей длине к производству картона и бумаги в стеблях соломы и тростника, составляет около 50 %.

Наличие мелких клеток в этих волокнистых материалах ухудшает их бумагообразующие свойства и создает проблемы при получении целлюлозных полуфабрикатов на основе соломы и тростника. Кроме того, в этих материалах практически всегда повышенное содержание соединений кремния, которые необходимо достаточно полно удалить для получения волокон требуемого качества.

Целлюлозу из соломы, тростника и других материалов вырабатывают по натронному или сульфатному способу. Для этого растительные материалы

превращают в сечку, обеспыливают, обескремнивают и передают на варку. Волокна соломенной целлюлозы часто отбеливают и используют для производства писчей, почтовой бумаги, а в композиции с древесной целлюлозой используют для производства бумаги для печати и высокосортных картонов. Волокна соломенной целлюлозы быстро гидратируются при размоле, обычно значительно деструктируются, что снижает прочность бумаги. При этом бумага имеет повышенную жесткость, звонкость, хорошо проклеивается.

Целлюлозные материалы из тростника и других растений применяются главным образом в небеленом виде для производства картонов различных видов, чаще всего в комбинации с волокнами из древесины. Использование волокон на основе злаков, тростника, стеблей кукурузы, хлопчатника, кустарников целесообразно экономически, поскольку волокна из древесины всегда дороже.

Длинноволокнистые полуфабрикаты – джут, рами и т. д. пригодны для получения прочных упаковочных видов бумаги и картона, специальных упаковок, гибких оболочек.

1.5.5. Макулатура

Макулатура (нем. *Makulatur* от лат. *Maculo* – пачкаю) – вторичные волокна, отходы производства, переработки и потребления всех видов бумаги и картона, пригодных для дальнейшего использования в качестве волокнистого сырья и самый распространенный волокнистый полуфабрикат.

В мировом балансе волокнистых полуфабрикатов макулатуры используется больше, чем всех остальных волокон вместе взятых.

Основная причина широкого использования вторичных волокон – экономическая. Цена макулатуры в 3–4 раза меньше, чем свежих волокон. Значительный рост применения вторичных волокон за последние годы связан также с развитием современных технологий получения высококачественной макулатурной массы, что позволяет сохранить требуемые бумагообразующие свойства макулатурных волокон, хотя в целом они уступают таковым у свежих волокон.

Основными источниками вторичных волокон являются отходы упаковочных материалов – тарного картона и гофроящиков, коробочного картона, других видов упаковки на картонно-бумажной основе. Также в собираемую макулатуру попадают отходы писче-печатной продукции – старые книги и журналы, газеты и рекламная продукция, отходы полиграфии и т. д. Возврат макулатуры в среднем по миру составляет – 60–65 %, но в некоторых странах в условиях недостатка свежих волокон использование макулатуры достигает 80–90 % от возможного.

Переработка вторичного волокна в высококачественную макулатурную массу представляет собой достаточно серьезную проблему по следующим причинам:

- наличие в поступающем макулатурном сырье неволокнистых включений. К ним относятся вспомогательные средства упаковки – полимерная клеевая пленка, металлические скобы и скрепки, различные клеевые ленты и т. д. Кроме того, в процессе сбора, транспортировки, хранения макулатура загрязняется отходами ткани, керамики, песком и другими видами грунта. В макулатуре часто встречаются отходы от упаковываемого материала – цемента, минеральных удобрений, различных строительных порошков и моющих средств, полимерных материалов. Также в настоящее время возрастает количество комбинированных упаковок, содержащих полимерные прокладки (пенополиуретан), полимерные покрытия различного характера. Серьезную проблему также представляют различные покрытия, химические реагенты, вводимые в волокнистую массу на поверхность бумаги и картона в основном с целью повышения прочности, в том числе влагопрочности, барьерных и печатных свойств. Особо следует отметить реагенты на основе крахмала, в том числе крахмальные клеи для склейки флутинга и лайнера в гофрокартоне. Также в последние годы увеличивается количество мелованных видов бумаги и картона, попадающих в макулатуру и содержащих значительное количество минеральных пигментов и латекса. И, наконец, следует отметить проблему, связанную с полиграфическими загрязнениями. Это различные виды печати на основе типографской краски, флексопечати и других видов изображений, офисная макулатура, запечатанная на ксероксе и принтерах различных видов, отходы писчей и тетрадной бумаги, содержащие пасту и чернила.

Все эти загрязнения необходимо в различной степени удалить для производства конкурентоспособной продукции. При этом чем выше качество продукции на основе вторичного волокна, тем большее количество отходов следует ожидать. В целом количество макулатурного сырья, требуемое для получения тонны бумаги или картона, составляет в среднем 1100–1500 кг. Наличие загрязнений в значительной степени усложняет массоподготовительные отделы для подготовки макулатурной массы и требует серьезных технических и технологических решений.

- Макулатура практически всегда представляет собой смесь различных волокон. Практически все массовые виды бумаги и картона и изделия из них (исключение – мешочная бумага и бумажные мешки), отходы от которых являются источниками макулатурного сырья, представляют собой материалы со сложной композицией, содержащие 2–3 волокнистых компонента различного породного состава (хвойные и лиственные), полученные с разнообразной технологией и выходом. Так, ящичная макулатура состоит из сульфатной небеленой хвойной целлюлозы и лиственной полуцеллюлозы, писче-печатная макулатура содержит беленую хвойную и лиственную целлюлозу, часто беленую механическую массу, газетная макулатура – небеленую сульфитную целлюлозу и различные виды механических масс.

Такое положение создает определенные проблемы в подготовке макулатурной массы. Различные волокнистые материалы для оптимальной массоподготовки требуют различных режимов размола, сортирования и достаточно точного дозирования для создания требуемой композиции. В

условиях использования свежих волокнистых полуфабрикатов эти требования выполняются путем формирования отдельных технологических потоков для каждого волокнистого полуфабриката. При роспуске макулатурного сырья получается смешанный технологический поток, для которого практически невозможно подобрать оптимальные условия подготовки макулатурной массы. В результате без принятия определенных мер в процессе размола длинные хвойные волокна не получают требуемую степень разработки, короткие лиственные волокна будут укорочены в большей, чем допустимо степени. Как следствие, полученная макулатурная масса будет обладать сниженными бумагообразующими свойствами.

Для недопущения подобного явления требуется включение в технологический поток операции фракционирования, которая отсутствует в массоподготовке на основе свежих волокон. В процессе фракционирования разделяются длинные и короткие волокна, практически хвойные и лиственные волокна, которые затем разрабатываются отдельно. Фракционирование усложняет процесс подготовки макулатурной массы, но способствует получению продукта требуемого качества.

- Неоднократное использование вторичных волокон, определяемое как цикличность. Наиболее характерно явление цикличности в производстве тарного картона и гофроящиков, где в настоящее время большая часть гофротары частично или полностью состоит из вторичного волокна.

Проблема цикличности состоит в том, что свежие волокна в процессе размола, отлива, прессования и сушки претерпевают определенные деструкционные изменения, приводящие к снижению прочности единичного волокна и уменьшению способности к межволоконному связеобразованию. Эти явления усугубляются в процессе получения тарного картона на гофроагрегатах, особенно под воздействием высокой температуры (180–190 °С) и давления на гофровалах. В результате материалы, прошедшие все эти операции и затем ставшие макулатурным сырьем, теряют 30–40 % своих бумагообразующих характеристик, то есть прочность листа, полученного из материала, прошедшего сложный цикл переработки, снижается примерно на такую же величину. Темп снижения при последующих циклах замедляется, но тенденция к снижению сохраняется. В таблице 1.2 моделируется процесс цикличности для волокон различной природы, подтверждающий течение явления цикличности.

Таблица 1.2 – Влияние цикличного использования целлюлозных полуфабрикатов на прочностные и деформационные характеристики лабораторных образцов

Номер цикла	P, Н	L, м	ε, %	ТЕА, Дж/м ²	Π, кПа	R, мН	N, ч.д.п.
Сульфатная небеленая хвойная целлюлоза							
0	112	7610	3,6	163,2	585	1140	1150
1	107	7270	3,0	143,4	555	1200	1100
2	99	6730	2,8	121,7	525	1260	980
3	95	6460	2,7	112,6	509	1350	930
4	91	6180	2,6	110,4	494	1440	880
5	88	5980	2,6	104,9	482	1380	770

Номер цикла	P, Н	L, м	ε, %	ТЕА, Дж/м ²	П, кПа	R, мН	N, ч.д.п.
Сульфатная беленая хвойная целлюлоза							
0	103	7000	3,3	148,8	562	840	870
1	93	6320	2,9	123,4	528	900	800
2	87	5910	2,7	107,1	484	980	760
3	83	5640	2,5	99,3	462	1090	610
4	76	5160	2,5	91,7	443	960	550
5	73	4960	2,4	85,4	426	900	480
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза							
0	64	4350	2,3	64,5	228	390	32
1	59	4010	2,1	53,4	163	380	12
2	57	3870	2,0	49,6	144	320	5
3	51	3460	1,5	44,8	125	290	3
4	46	3130	1,4	36,2	117	250	2
5	44	2990	1,4	33,8	104	230	2

Следует отметить, что в макулатурных материалах всегда содержатся волокна с различной степенью цикличности, поэтому можно говорить о средней степени цикличности для конкретного вида макулатуры. Методы оценки степени цикличности разработаны, и они требуют специального лабораторного исследования. Опыт работы предприятий и научные исследования приводят к выводу, что реально возможное число циклов для единичного волокна, сохраняющего определенный уровень бумагообразующих характеристик, составляет не более 5–6. В целом явление цикличности – фактор, который необходимо учитывать в технологии использования макулатурного сырья.

Большая часть собираемой макулатуры используется для производства различных видов картона. Прежде всего, это тарный картон, основа для гофрокартона. При этом тестлайнер и макулатурный флутинг по объему продукции обогнали крафтлайнер и полуцеллюлозный флутинг. Также значительное количество макулатуры используется в производстве коробочного и облицовочного картона. В настоящее время в отечественной практике 80 % собираемой макулатуры – материал для картонного производства.

Чуть больше 50 % санитарно-гигиенической бумаги выпускается на основе макулатурного сырья. Основной источник – писче-печатная макулатура. В мировой практике значительная часть газетной бумаги также производится на основе вторичных волокон. Расширению использования писче-печатной макулатуры для различных видов бумаги и картона способствуют перспективные направления подготовки такой макулатуры путем деинкинга – обесцвечивания и облагораживания запечатанной макулатуры.

Волокно, прошедшее стадию деинкинга, вполне может быть использовано в производстве писче-печатных видов бумаги, санитарно-гигиенической бумаги премиум-качества, верхнего белого слоя тестлайнера.

2. ПОДГОТОВКА БУМАЖНОЙ МАССЫ

Подготовка бумажной массы – сложный многостадийный процесс с целью приготовления разработанной волокнистой структуры, содержащей все необходимые компоненты для производства конечной продукции – бумаги и картона с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Непременное условие успешной массоподготовки – создание структурированной волокнистой гидросуспензии, где присутствие воды играет основополагающую роль для эффективного течения всех стадий процесса. Этот тезис относится к гидродинамическому способу производства бумаги и картона – наиболее употребительному в современной технологии, поскольку использование аэродинамического формования без значительного влияния воды не может рассматриваться в качестве конкурентного способа производства.

Протекание отдельных стадий массоподготовительного процесса весьма разнообразно и зависит от целого ряда технологических факторов. Основным моментом, влияющим на особенности различных разделов массоподготовительного цикла, является вид волокнистых полуфабрикатов, используемых для данного вида продукции. Различие в морфологических физико-химических характеристиках используемых волокон в значительной степени влияет на стадии массоподготовки. Серьезное влияние на все явления, сопровождающие процесс массоподготовки, оказывает волокнистая композиция конкретной продукции, поскольку для различных видов волокон, составляющих композицию, требуются свои оптимальные условия для подготовки волокна.

Химические процессы, сопутствующие подготовке бумажной массы (химия мокрой части, проклейка, наполнение, крашение), также имеют значительное влияние, т. к. требуют учета разнообразных факторов, связанных с явлениями физико-химического характера, сопровождающие взаимодействие химических реагентов и растительных волокон.

Также заметное влияние на процессы массоподготовки оказывают конструктивные особенности, в частности конфигурация сеточной части бумаго- и картоноделательных машин. В частности, однослойное либо многослойное формование определяют структуру массоподготовительного отдела. Технология массоподготовки связана также с режимами обезвоживания в мокрой части машины и процессом сушки и отделки.

Таким образом, определяя технологию подготовки бумажной массы, необходимо учитывать ряд факторов, многие из которых имеют общий характер для большинства видов продукции. При этом достаточное количество факторов имеют индивидуальное значение для конкретных видов бумаги и картона.

2.1. Роспуск волокнистых полуфабрикатов

Процесс роспуска – обязательный технологический процесс для любого производства бумаги и картона. Этот процесс следует разделить на три отдельные технологии:

- роспуск свежих волокнистых полуфабрикатов;
- роспуск макулатурного сырья;
- роспуск оборотного брака.

Роспуск свежих волокнистых полуфабрикатов характерен для бумажных фабрик, работающих на привозных товарных волокнистых полуфабрикатах. Основная цель процесса роспуска – превращение относительно сухого волокнистого материала в волокнистую гидросуспензию – бумажную массу, пригодную к перекачиванию массными насосами на дальнейшие операции. Эта цель достигается путем совмещения физико-химических и гидродинамических процессов, происходящих при контакте волокнистых полуфабрикатов с водой. При этом вода проникает в поры волокнистой папки внутрь волокна и вызывает их набухание. Связи между волокнами, в том числе водородные, значительно ослабляются, поскольку вода располагается между волокнами, и связи, осуществляемые через водные прослойки, приводят к резкому снижению прочности волокнистой папки и практически к полному разволокнению. Процесс разволокнения и получения волокнистой гидросуспензии активизируется за счет гидродинамических и механических воздействий на листовую материал. Гидравлические потоки обладают различной скоростью и разнонаправленным движением, что обеспечивает необходимый результат.

Разволокнению способствует конструкция аппаратов для роспуска – гидроразбивателей. Двигающиеся фрагменты папки получают ударные импульсы за счет контакта с различными преградами – стенками и ребрами аппарата, его подвижными элементами (ротор). Разволокнение также происходит за счет трения и сдвига при скольжении массы между стенками аппарата и поверхностью вращающегося ротора. Важно отметить, что прочность волокон, составляющих волокнистую папку, значительно выше, чем прочность самой волокнистой папки, это практически гарантирует целостность отдельных волокон.

К традиционным гидроразбивателям относят аппараты, состоящие из открытой неподвижной цилиндрической ванны с закругленным днищем, внутри которой располагается вращающийся ротор с лопастями. Под ротором обычно устанавливается экстракционная плита, представляющая собой перегородку из металлического листа с отверстиями определенного диаметра.

Движение компонентов массы в гидроразбивателе обеспечивается вращением ротора. Ротор можно уподобить рабочему органу центробежного или винтового насоса, сообщаящего распускаемой в ванне массе движение по спиралеобразной траектории (рис. 2.1).

Масса, отбрасываемая лопастями ротора к стенкам ванны, поднимается по спирали в верхнюю часть ванны (восходящий поток). Дойдя до верхней точки,

масса начинает двигаться вниз, возвращаясь к ротору также по спиральной траектории (нисходящий поток). Таким образом, происходит циркуляция массы в ванне (насосный эффект), в результате которой на свободной поверхности массы образуется воронка. Между восходящим и нисходящим потоками образуется переходная зона, характеризующаяся малыми, неустойчивыми значениями скоростей движения массы (мертвая зона).

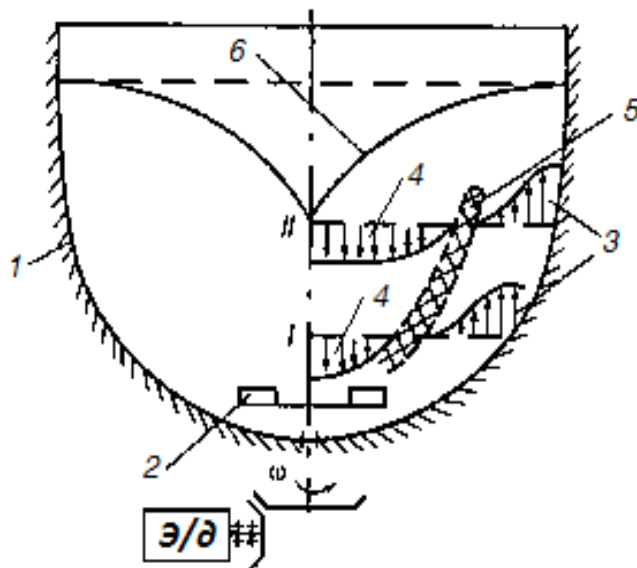


Рис. 2.1. Схема движения потоков массы в меридиональной плоскости ванны гидроразбивателя: 1 – ванна; 2 – ротор; 3 – восходящий поток; 4 – нисходящий поток; 5 – мертвая зона; 6 – воронка

В процессе движения смесь макулатуры с водой соударяется с ротором и направляющими ребрами на стенках ванны. В результате происходит активное разрушение макулатуры. Эффективность воздействия указанных элементов тем выше, чем выше скорость движения массы, частота повторяемых соударений, и чем ближе к прямому угол встречи движущейся массы с преградой. Как показывает практика, частота соударений и их эффективность возрастают при условии преобладания циркуляционного (вертикального) движения массы в ванне. Гидродинамическое воздействие на фрагменты макулатуры проявляется в полной мере тогда, когда завершается процесс намокания макулатуры.

При роспуске в зависимости от принятой технологии используют либо периодический режим роспуска, когда распускается только определенный объем массы, либо непрерывный, когда роспуск ведется без остановок на заполнение и опорожнение. Как правило, роспуск в периодическом режиме ведут при повышенных концентрациях, что позволяет компенсировать снижение производительности из-за остановок гидроразбивателя. Различают роспуск при высокой (12–20 %), при средней (6–12 %) и низкой (3–6 %) концентрациях ММ. В зависимости от режима роспуска и концентрации массы используют те или иные типы гидроразбивателей, которые различаются расположением вала

ротора: вертикальные, горизонтальные и наклонные. Последний тип гидроразбивателя мало распространен. Горизонтальные гидроразбиватели часто используют в качестве бракомолок и в тех случаях, когда перерабатывается низкокачественная макулатура с высокой степенью загрязненности. Кипы не попадают непосредственно на крыльчатку ротора, поэтому он имеет больший срок службы.

На рис. 2.2 приведена классификация режимов работы и соответствующих типов гидроразбивателей.

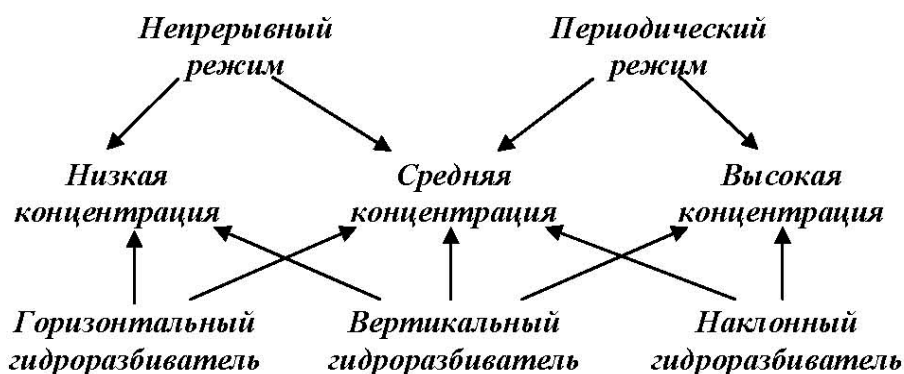


Рис. 2.2. Классификация режимов и оборудования для роспуска

Производительность процесса роспуска макулатуры в гидроразбивателе зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются объем ванны, режим работы, рабочая концентрация при роспуске, используемый тип ротора, диаметр отверстий перфорированной плиты и т. д. Для приближенной практической оценки производительности гидроразбивателя Q используют формулу:

$$Q = 14,4 \times \frac{V \times c \times K}{t}, \text{ т/сут,} \quad (2.1)$$

где V – рабочий объем ванны гидроразбивателя, равный приблизительно 0,75 геометрического объема, м³;

c – концентрация распускаемой массы, %;

K – коэффициент использования рабочего времени работы гидроразбивателя (при непрерывном режиме роспуска $K = 0,8 \div 0,9$; при периодическом $K = 0,3 \div 0,6$);

t – продолжительность роспуска материала в гидроразбивателе, мин.

Следует отметить, что приведенная формула не учитывает вид распускаемой макулатуры, тип применяемого ротора, диаметр отверстий и площадь живого сечения сита экстракционной плиты.

Реальная продолжительность роспуска макулатуры в гидроразбивателе обычно колеблется в пределах 15–40 мин. Наибольшие значения продолжительности следует применять для гидроразбивателей большего объема при роспуске сильноклееной макулатуры.

Для роспуска волокнистых полуфабрикатов используются в основном вертикальные или горизонтальные гидроразбиватели, работающие при концентрации 3–6 %.

Существует тенденция перехода на гидроразбиватели, работающие при концентрации 12–13 %, главным образом для экономии энергии при транспортировке волокнистых гидросуспензий из-за снижения объемов бумажной массы.

Значительно сложнее осуществляется роспуск макулатурного сырья (рис. 2.3 и 2.4). Помимо основной задачи – разволокнение и образование транспортируемой волокнистой гидросуспензии в процессе роспуска макулатуры, требуется решение следующих задач:

- максимально возможное удаление из макулатурного сырья крупных фракций загрязнений;
- частичное удаление мелких загрязнений, находящихся на волокнах;
- при необходимости обработка макулатурной массы (ММ) химическими реагентами, необходимыми для смачивания, разволокнения, очистки.

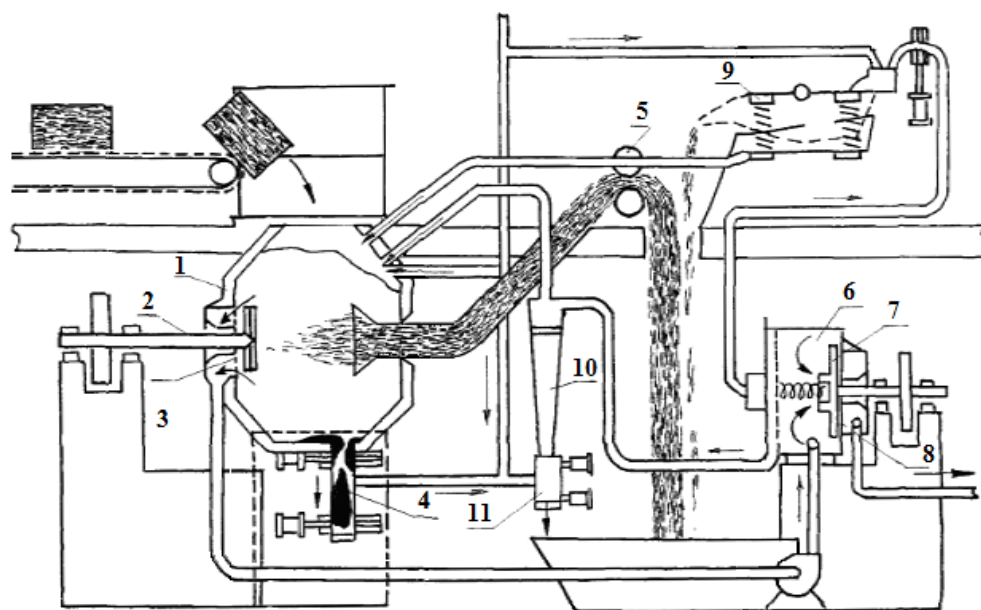


Рис. 2.3. Система роспуска ATS-N: 1 – горизонтальный гидроразбиватель; 2 – ротор; 3 – сито; 4 – грязевик; 5 – жгутоулавливатель; 6 – турбосепаратор; 7 – ротор; 8 – сито; 9 – вибросортировка для легких отходов; 10 – очиститель; 11 – грязевик очистителя

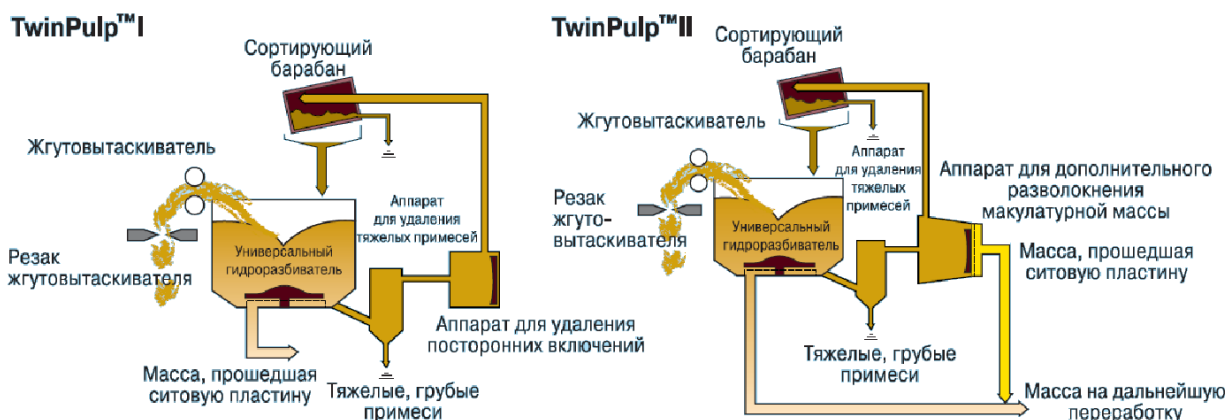


Рис. 2.4. Схемы систем роспуска TwinPulp I, II

Поскольку ММ представляет собой отходы сформировавшихся видов бумаги и картона, обладающих прочностью (иногда влагопрочностью) значительно большей, чем волокнистая папка свежих полуфабрикатов, роспуск макулатуры происходит заметно медленнее и требует значительно больших усилий и соответственно больших расходов энергии. При роспуске проклеенных и влагостойких видов бумаги и картона возникает проблема низкой гидрофильности материалов, что препятствует проникновению влаги в пористую структуру и внутрь волокна. Для повышения гидрофильности и смачивания ММ зачастую возникает необходимость использования химических реагентов. Это могут быть добавки гидроксида натрия в количестве до 1,0 % от массы волокна, некоторых групп поверхностно-активных веществ (ПАВ) в количестве около 0,5 % от массы волокна, введение энзимов (ферментов), существенно ускоряющих процесс роспуска макулатурной массы. Наиболее дешевая и распространенная добавка гидроксида натрия может приводить к снижению белизны ММ из белых видов бумаги. Для компенсации рекомендуется добавка в ММ пероксида водорода.

В настоящее время для роспуска ММ чаще используются следующие технологии:

- роспуск в традиционных гидроразбивателях горизонтального и вертикального типа с ванной и вращающимся ротором;
- роспуск в гидроразбивателях барабанного типа с движением массы вдоль барабана за счет его вращения и уклона.

Технические характеристики гидроразбивателей и условия их эксплуатации представлены в таблице 2.1.

В гидроразбивателях для ММ в основном производится предварительный грубый роспуск макулатуры и удаление крупных неволокнистых включений.

Окончательное разволокнение, очистка и сортирование ММ происходит в специальных аппаратах, обеспечивающих доволокнение и тонкое сортирование – турбосепараторах, фиберайзерах, дисковых сортировках, вихревых

очистителях, напорных и центробежных сортировках. При этом из ММ дополнительно удаляются тяжелые и легкие загрязнения, липкие включения.

Таблица 2.1 – Характеристики и условия эксплуатации гидроразбивателей

Тип гидроразбивателя	Вид макулатуры	Условия эксплуатации				Характеристики аппарата			
		Концентрация, %	Производительность, т/сут	Продолжительность роспуска, мин	Режим работы	Рабочий орган	Окружная скорость, м/с	Сортирующее сито	Диаметр аппарата, мм
Высокой концентрации	Газеты, журналы	До 18	30-400	15-20	Периодический	Винтовой ротор	2-16	Нет/Да	7100
Средней концентрации	Газеты, журналы	До 12	140-500	20-30	Периодический	Винтовой ротор	3-17	Нет/Да	6000
Низкой концентрации	Гофротара	До 6	200-1600	5-40	Непрерывный	Ротор с лопастями	5-20	Да	8000
Барабанного типа	Газеты, журналы, гофротара	До 20	100-1600	20-40	Непрерывный	Барабан	5-2,0	Да	4250

Наиболее перспективной представляется технология деинкинга, предусматривающая обесцвечивание и облагораживание ММ для производства высокосортной санитарно-гигиенической бумаги, а также печатных видов бумаги.

В процессе деинкинга происходит отделение печатной краски от волокна, удаление печатного шлама и наполнителя, отбели ММ. Для этого используются специальные химические реагенты – ПАВ, отбеливающие вещества (пероксид водорода, дитионит натрия), а также система флотации с использованием мелких воздушных пузырьков, удаляющих загрязнения из ММ.

Существуют разнообразные виды основного оборудования – гидроразбивателей, и различные системы роспуска, отличающиеся набором оборудования и условиями технологии (рис 2.5, рис 2.6, рис 2.7).

С целью экономии энергии на роспуск ММ, а также для роспуска трудноразволокняемой макулатуры (tetrapak, материалы со сложными покрытиями), роспуск производится при средних и высоких концентрациях (7–20 %) в периодическом режиме. Такой роспуск возможен при изменении конструкции ротора с приданием ему винтообразной – геликоидальной формы.

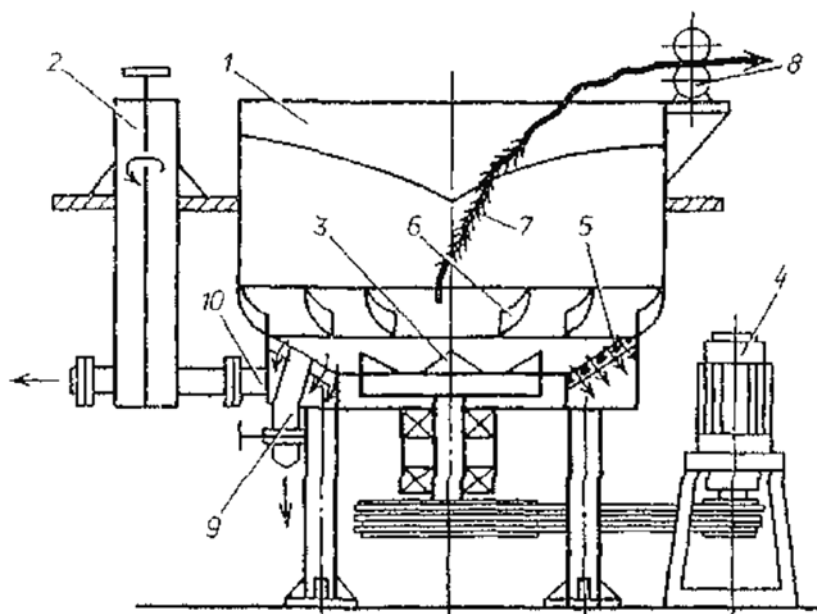


Рис. 2.5. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при низкой концентрации массы: 1 – ванна; 2 – переливной ящик; 3 – ротор; 4 – электродвигатель; 5 – сито; 6 – неподвижные направляющие лопасти; 7 – жгут; 8 – жгутовываскиватель; 9 – грязевик для сбора тяжелых отходов; 10 – выпускной патрубок отвода готовой массы

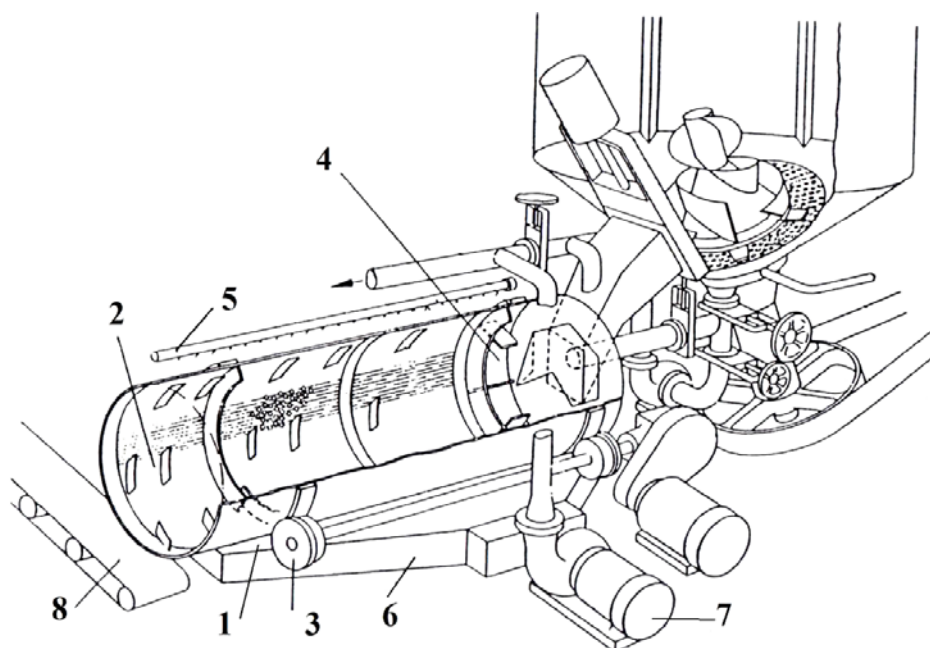


Рис. 2.6. Система роспуска в гидроразбивателе с косым дном: 1 – сортирующий барабан; 2 – перемешивающие лопасти; 3 – поддерживающие вращающиеся катки; 4 – загрузочная секция барабана; 5 – спрысковая труба; 6 – приемный бассейн для массы; 7 – насос для откачки разбавленной массы; 8 – ленточный конвейер для отходов

Гидроразбиватели, работающие при средних и высоких концентрациях, необходимо оснащать дополнительными устройствами для удаления загрязнений.

Таким образом, роспуск ММ решает разнообразные технологические задачи и позволяет получить достаточно чистое, без дополнительных повреждений, волокно для производства высококачественной продукции на основе ММ.

Роспуск оборотного брака представляет собой отдельную технологическую задачу, которая сопровождает производство любого вида бумаги и картона, а также товарной целлюлозы. Эта задача отличается как от роспуска свежих волокнистых полуфабрикатов (разволокняются сформировавшиеся виды бумаги и картона), так и от роспуска ММ (отсутствие крупных загрязнений и неволокнистых включений).

Оборотный брак бумаго- и картоноделательных машин состоит из мокрого брака (отходы мокрой части БДМ и КДМ) и сухого брака (обрывы и отходы при заправке в сушильной части БДМ и КДМ, отходы при смене рулонов на накате, отходы от продольно-резательного станка, суперкаландра, устройства для покрытий, отходы в виде отбракованной продукции).

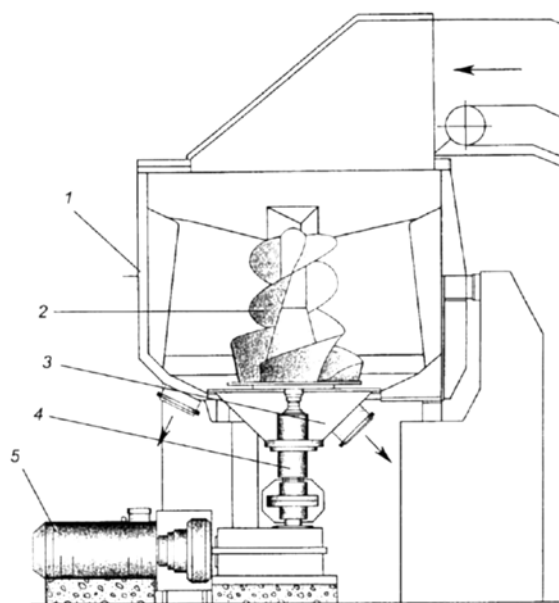


Рис. 2.7. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при высокой концентрации массы: 1 – ванна; 2 – ротор; 3 – подроторная зона; 4 – муфта; 5 – привод

Мокрый брак разволокняется в гауч-мешалке (устройство для перемешивания в конце сеточной части БДМ и КДМ) без каких-либо затруднений, смешивается с разволокненным сухим браком и в потоке брака дозируется в композицию бумаги и картона.

Сухой брак различным образом транспортируется в специальное бракомольное устройство. Как правило, это гидроразбиватель достаточно большого объема, традиционного устройства, расположенный в нижней части БДМ или КДМ в районе наката. Гидроразбиватель сухого брака работает в непрерывном режиме. Распущенный сухой брак чаще всего проходит доволоknение в пульсационных мельницах или энштипперах (рис. 2.8, 2.9).

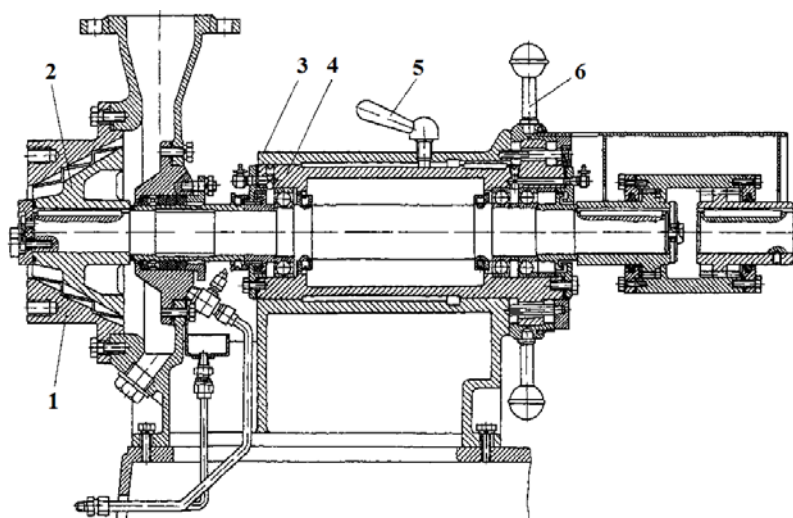


Рис. 2.8. Конструкция пульсационной мельницы: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – станина; 4 – стакан ротора; 5 – стопор для фиксации положения ротора; 6 – механизм перемещения ротор

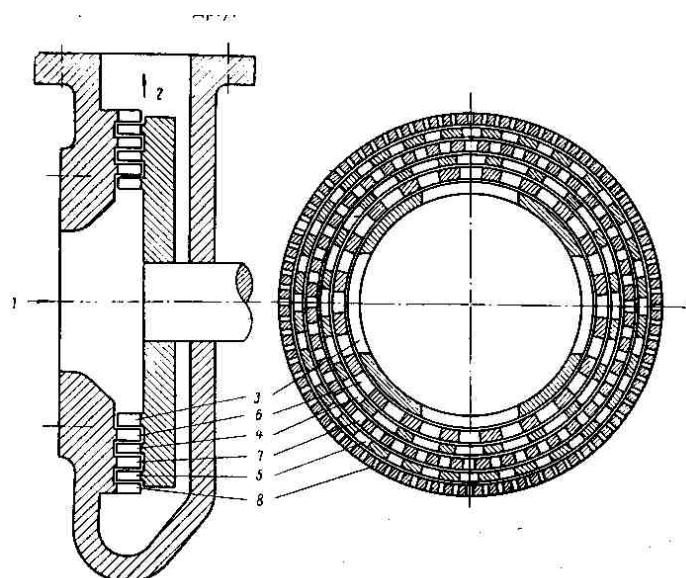


Рис. 2.9. Энштиппер фирмы Эшер-Висс

После смешения с мокрым браком формируется поток оборотного брака, необходимые объемы которого дозируются в композицию. Нерегулируемые добавки оборотного брака приводят к снижению качества готовой продукции главным образом из-за снижения показателей прочности.

Некоторые затруднения возникают при роспуске сухого брака от влагопрочных видов бумаги и картона, а также бумаги с покрытием на встроенных устройствах (мелованная бумага). В подобных случаях требуются специальные условия роспуска, предусматривающие ослабление или разрушение влагопрочных связей в листе (в зависимости от вида влагопрочных смол). В случае мелованных видов бумаги может возникнуть проблема переработки сухого брака из-за наличия латекса, используемого как связующее в меловальной пасте. Тогда сухой брак может быть использован в продукции более низкого качества, во внутренних слоях картона при производстве мелованного многослойного картона. Возможны варианты, когда использование мелованного сухого брака в основной продукции невозможно.

Таким образом, процесс роспуска является достаточно сложным, многоцелевым и зависящим в высокой степени от объектов роспуска. В то же время этот процесс является неотъемлемой технологией любого вида бумаги и картона. При этом наиболее сложным и влияющим решающим образом на конечный результат представляется роспуск ММ.

2.2. Размол волокнистых полуфабрикатов

Процесс размола заключается в механическом воздействии с различной степенью интенсивности на растительные волокна в водной среде. Размол является неотъемлемой и крайне важной частью технологии в производстве всех видов бумаги и картона, независимо от их композиции. Не размолотые волокна практически непригодны для производства бумаги и картона требуемого качества в основном из-за низких показателей прочности, неравномерности макроструктуры, невозможности достижения необходимых эксплуатационных характеристик готовой продукции.

В процессе размола реализуются основные бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов, а именно:

- оптимальный фракционный состав волокна по длине;
- способность волокон к межволоконному связеобразованию;
- возможность получения готовой продукции с требуемой макроструктурой;
- оптимальные поверхностные характеристики волокна;
- реализация требуемых потребительских свойств бумаги и картона.

Конечной целью процесса размола является получение готовой продукции с требуемыми свойствами, прежде всего, с необходимыми показателями прочности. Размол производится в специальных аппаратах различной конструкции, где возможна реализация главным образом механического, а также

гидродинамического, пульсационного, вибрационного, ультразвукового и других воздействий на волокно в водной среде для придания им свойств, необходимых для достижения конечной цели размола. В настоящее время в подавляющем большинстве случаев процесс размола является непрерывным, встроенным в рамки технологического потока производства данного вида продукции без нарушения скоростных режимов его протекания.

Поскольку процесс размола необходим для придания требуемых характеристик бумаге и картону, в первую очередь показателей прочности, то следует определить, от каких параметров в целом зависит прочность листа бумаги или картона. Основными элементами, определяющими прочность, являются:

- прочность единичных волокон, составляющих лист;
- прочность связей между волокнами, находящимися в структуре листа;
- равномерность макроструктуры листа.

Необходимый уровень развития каждой из названных составляющих является обязательным условием получения материала. Иными словами, готовую продукцию невозможно произвести, если прочность волокна, связь между ними или равномерность макроструктуры ниже требуемых показателей. При этом процесс размола волокон в той или иной степени влияет на развитие вышеуказанных параметров.

Так, следует признать, что наибольшей прочностью обладают единичные волокна, подаваемые на производство бумаги и картона. В процессе производства готовой продукции (ропуск, размол, сортирование, работа мокрой и сушильной части БДМ и КДМ, отделка бумаги и картона) неизбежно происходит деструкция единичных волокон, что приводит к снижению их прочности. Наиболее существенна деструкция в процессах размола (механическое воздействие) и сушки (термическое воздействие). Волокна деструктируются независимо от их происхождения, однако уровень деструкции будет различным в зависимости от исходной прочности единичных волокон, зависящей от методов их производства. Волокна, поступающие на производство бумаги и картона, имеют свою предысторию, определяющую ту или иную степень деструкции и уровень прочности единичного волокна. Свежие волокнистые полуфабрикаты, поступающие на бумажно-картонное производство жидким потоком либо в виде товарной продукции, деструктированы в процессе варки, отбели, сушки (товарная продукция). Уровень деструкции зависит также от выхода полуфабрикатов, методов разволокнения после варки, наличия или отсутствия полумассного размола. Для полуфабрикатов высокого или сверхвысокого выхода основной вклад в деструкцию волокон вносят механохимические процессы производства данных полуфабрикатов.

У вторичных волокон, являющихся исходным материалом для производства бумаги и картона, уровень деструкции всегда выше, чем для свежих волокнистых полуфабрикатов, поскольку их предыстория включает в себя цикл производства бумаги и картона. Серьезное значение для прочности вторичных волокон имеет количество циклов производства данного волокна, то

есть явление цикличности. В зависимости от вида волокон 5–8 циклов снижают их прочность до уровня, когда использование становится практически невозможным. Таким образом, предыстория волокна определяет его единичную прочность, являющуюся тем показателем прочности, с которым волокно приходит на бумажно-картонное производство, и который, как было указано, является наибольшим в данный момент. В последующем технологическом потоке прочность единичных волокон только снижается.

Вторым важнейшим параметром, определяющим прочность листа, являются связи между волокнами. Вопрос межволоконного связеобразования представляется центральным в технологии бумаги и картона. Возможность образования связей между растительными волокнами за счет сил поверхностного сцепления без обязательного участия связующих веществ – основное преимущество бумаги и картона перед рядом других волокнистых материалов на основе волокна нерастительного происхождения.

Влияние размола на межволоконное связеобразование является самым существенным и заключается в развитии связеобразования на любой стадии размола. Низкое качество бумаги и картона из неразмолотых либо недостаточно размолотых волокон определяется неготовностью их поверхности к взаимодействию с соседними волокнами. В процессе размола в водной среде устанавливается взаимодействие растительных волокон с водой, происходит процесс набухания, увеличивается удельная поверхность волокон, возрастает возможность волокон к интенсивному образованию связей через водные прослойки с последующим их развитием в межволоконные связи (рис. 2.10).

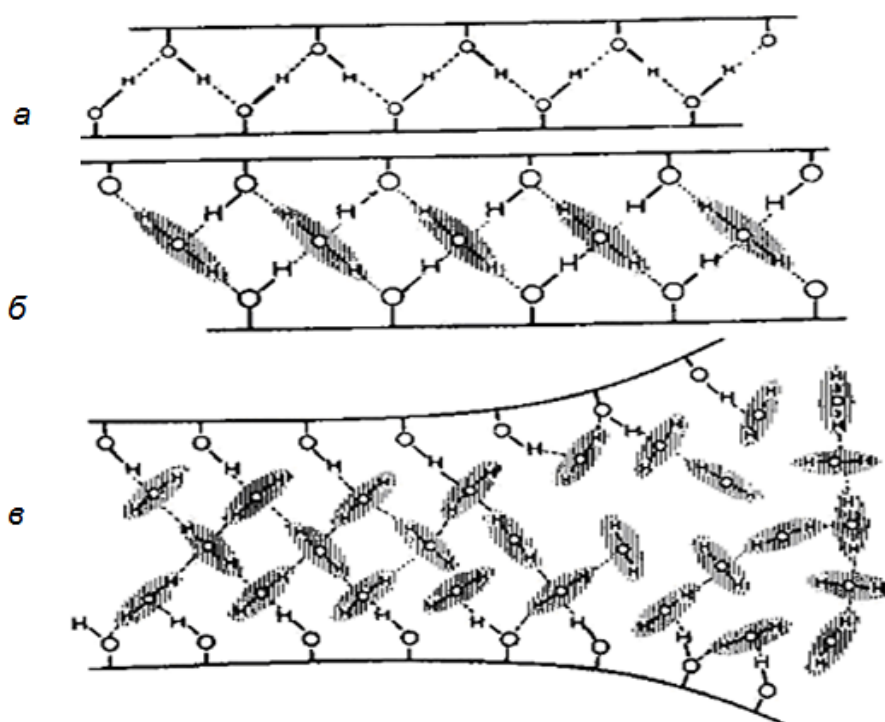


Рис. 2.10. Схема водородной связи между двумя соседними целлюлозными волокнами (по Х. Эмертону): а – в сухом волокне; б – при сорбции мономолекулярного слоя воды; в – при сорбции полимолекулярного слоя воды

В период массоподготовки, в основном в процессе размола, волокна приобретают поверхностные характеристики, потенциально определяющие возможность последующего связеобразования. Реализация этих возможностей осуществляется в сеточной, прессовой и сушильной частях БДМ и КДМ и сопровождается процессом обезвоживания бумажного листа. Таким образом, процесс размола является определяющим в развитии межволоконного связеобразования, которое усиливается на всех стадиях размола.

Первые два параметра – прочность единичных волокон и межволоконное связеобразование – наиболее значимые для формирования показателей прочности бумажного полотна. Фактор неравномерности макроструктуры влияет на показатели прочности в меньшей степени. Неравномерность макроструктуры связана с процессом хлопьеобразования (флокуляции) в волокнистой системе и выражается в колебаниях массы 1 м^2 и, соответственно, толщины материала по площади бумажного листа. Эти колебания могут быть с различным отклонением от номинальной массы 1 м^2 и иметь разный масштаб, то есть размер от достаточно мелких до значительных по занимаемой площади. Наличие флоккул на поверхности листа приводит к тому, что при оценке прочности материала получается результат, характерный для более тонких участков полотна, с меньшей массой 1 м^2 . Поэтому чем более равномерный бумажный лист, тем выше его показатели прочности, как и иные эксплуатационные характеристики.

Влияние процесса размола на неравномерность макроструктуры является достаточно неоднозначным. При наличии общей тенденции к выравниванию макроструктуры в процессе размола, в зависимости от вида волокна, его морфологии и целого ряда иных параметров, формирование макроструктуры имеет сложный характер и является труднопрогнозируемым.

Следует отметить, что влияние размола на неравномерность макроструктуры проявляется значимым образом на промышленных образцах бумаги и картона. Образцы материалов, полученных в лабораторных условиях, имеют достаточно высокую равномерность макроструктуру и чаще всего минимальные колебания по массе 1 м^2 в связи с низкими концентрациями при отливе в лабораторных листоотливных аппаратах.

Таким образом, в процессе размола снижается единичная прочность растительных волокон, усиливается межволоконное образование, неоднозначно меняется макроструктура бумажного полотна. Поскольку конечной целью процесса размола является получение материала с требуемым уровнем прочности, следует констатировать, что реализация этой цели осуществляется через интенсификацию межволоконного связеобразования.

Рассматривая межволоконное связеобразование, прежде всего, следует учитывать, что растительные волокна, используемые в производстве бумаги и картона, особенно массовых видов, представляют собой комплекс природных полимеров – целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина.

Сочетание этих полимеров имеет различное количественное соотношение в зависимости от вида волокна, его выхода, способа производства. Наиболее серьезные различия в этом плане между первичными и вторичными волокнами.

Целлюлоза – это полисахарид, макромолекулы которого построены из мономерных звеньев ангидро-β-D-глюкопиранозы (остатков D-глюкозы), соединенных гликозидными связями 1→4, причем каждое последующее звено повернуто по отношению к предыдущему по оси C1–C4. (рис. 2.11). Она представляет собой линейный гетероцепной стереорегулярный гомополимер.

Степень полимеризации технической целлюлозы, используемой для производства бумаги и картона, в среднем 300–1000.

Основные характеристики целлюлозы определяются ее функциональными группами – гидроксильными, связанными со вторым, третьим и шестым углеродными атомами в каждом шестичленном цикле. Через гидроксильные группы осуществляются как основные химические реакции целлюлозы (получения различных соединений на основе целлюлозы), так и физико-химические процессы, связанные с производством бумаги картона.

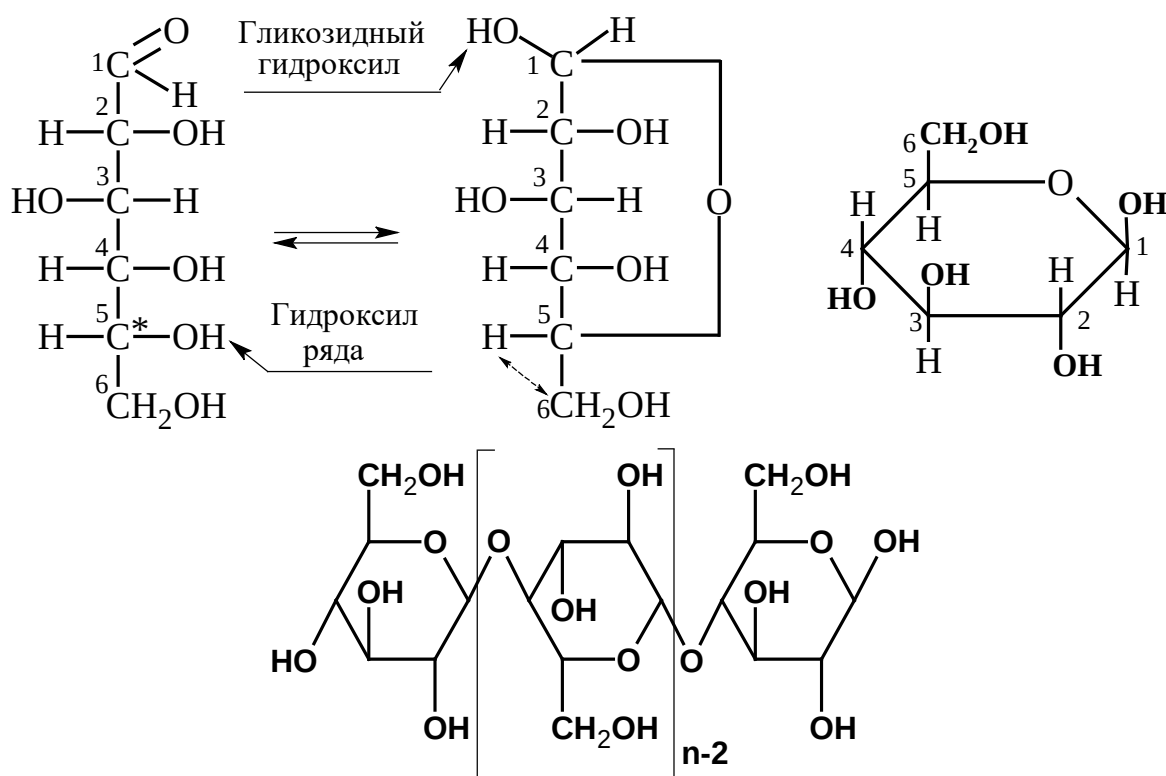


Рис. 2.11. Структурные формулы целлюлозы и ее элементарного звена

Гемицеллюлозная фракция в составе растительных волокон – чаще разветвленный гетероцепной полимер, со степенью полимеризации 150–250. Гемицеллюлозы, в основном имеют смешенное строение, то есть построены из остатков различных сахаров (ксилозы, арабинозы, глюкозы, маннозы, галактозы) и уоновых кислот. Поэтому их условно подразделяют на пентазаны и гексазаны.

Древесина лиственных пород содержит больше пентазанов (20–30 %) чем древесина хвойных (8–12 %). Основными представителями пентазанов являются ксиланы, в меньших количествах встречается арабинан, входящий в состав

пектиновых веществ. В лиственной древесине содержится глюкуроноксилан, а в хвойной арабиноглюкуроноксилан (рис. 2.12, 2.13).

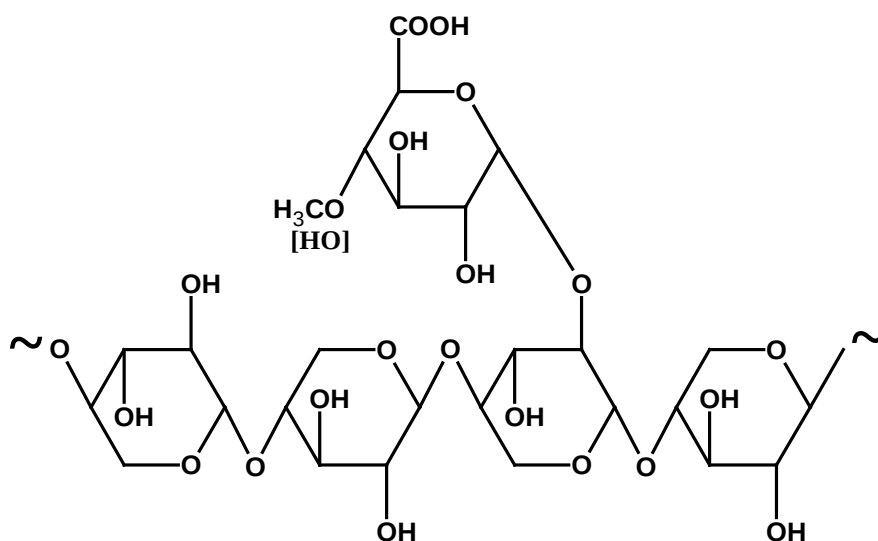


Рис. 2.12. Фрагмент макромолекулы глюкуроноксилана
(ацетильные группы не показаны)

Содержание гексозанов выше в древесине хвойных пород (8–14 %) по сравнению с лиственными породами (0,5–6 %). Основными представителями гексозанов являются маннаны и галактаны. В древесине лиственных пород содержится глюкоманнан (рис. 2.14), а в древесине хвойных – глюкоманнан и галактоглюкоманнан (рис. 2.15).

К гексозанам относятся также однородный галактан (рис. 2.16) в составе пектиновых веществ, различные фруктоманнаны, а также глюканы нецеллюлозных водорастворимых полисахаридов.

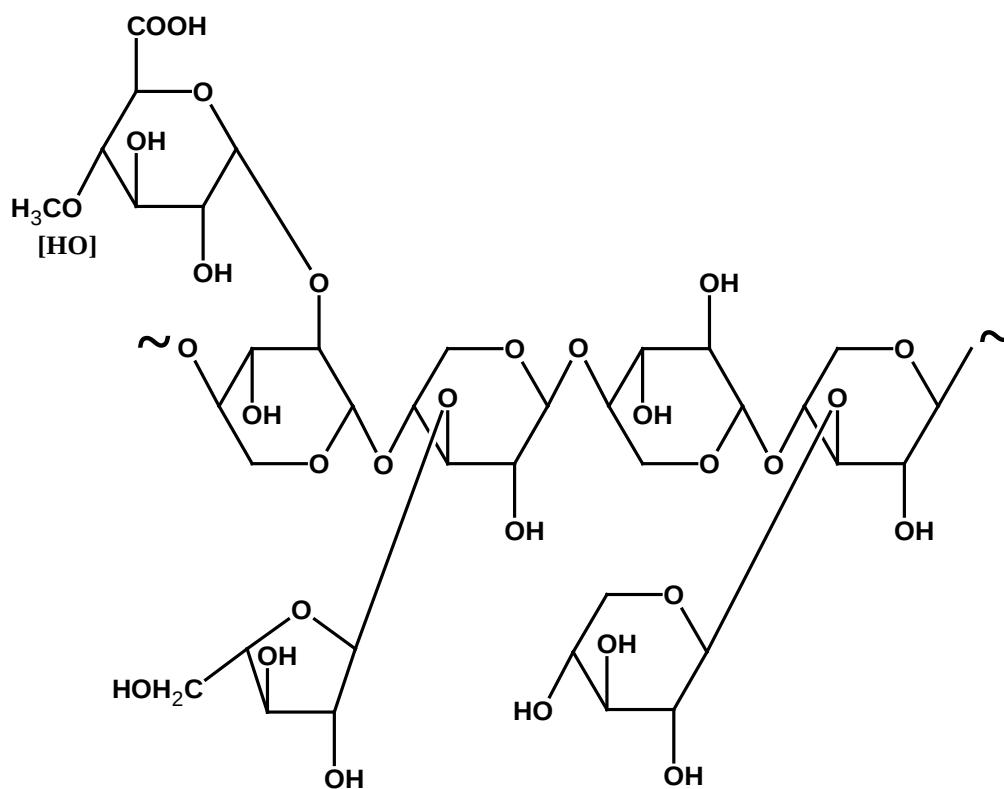


Рис. 2.13. Фрагмент макромолекулы арабиноглюкуроноксилана

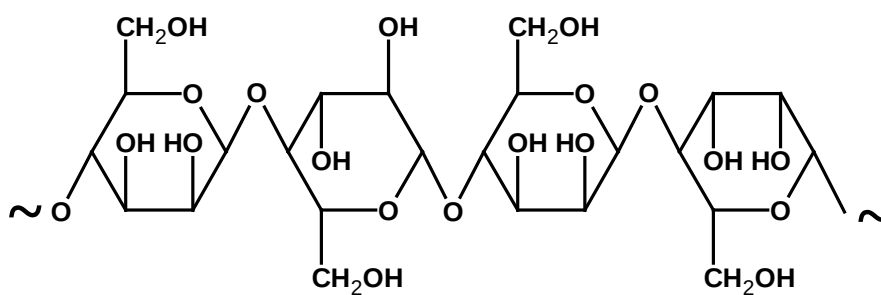


Рис. 2.14. Фрагмент цепи линейного глюкоманнана

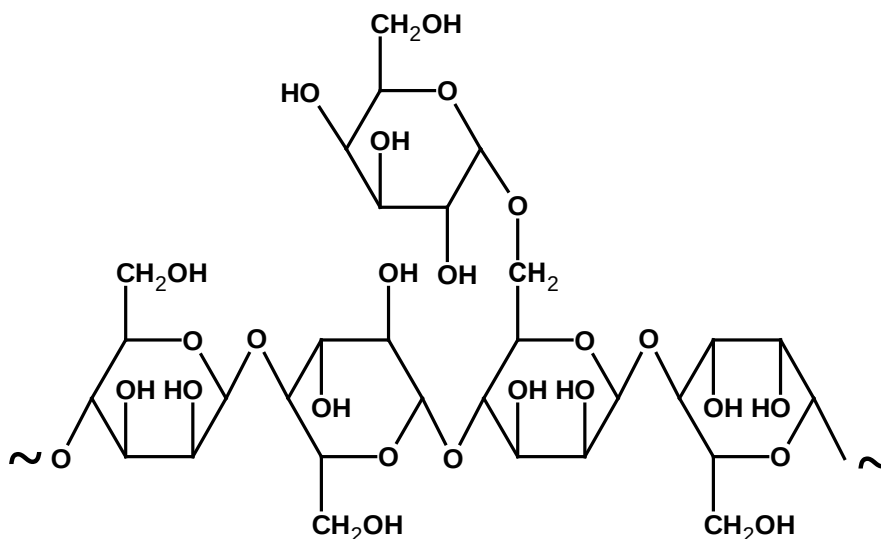


Рис. 2.15. Фрагмент макромолекулы галактоглокоманнана

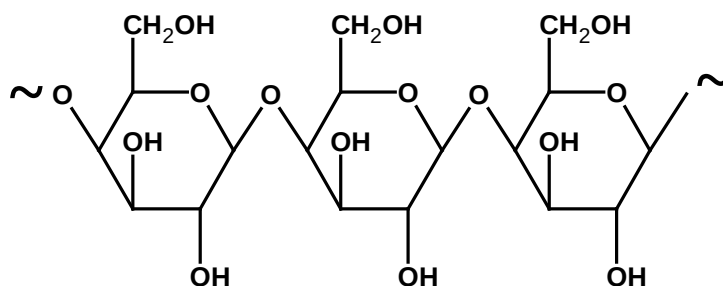


Рис. 2.16. Фрагмент цепи линейного галактана

Гемицеллюлозы также имеют гидроксильные группы, играющие важную роль в процессах бумагообразования. Гидроксильные группы целлюлозы и гемицеллюлоз обеспечивают высокую гидрофильность этих полимеров и волокон в целом. Взаимодействие воды и гидроксильных групп полимеров приводит к гидратации и набуханию волокон в водной среде. При этом меняется релаксационное состояние полимеров, оно переходит из стеклообразного состояния в высокоэластичное, что позволяет отнести целлюлозу и гемицеллюлозы к гидропластичным полимерам.

Третий полимерный компонент растительных волокон – лигнин, представлен в небеленых волокнах в большей степени в полуфабрикатах высокого и сверхвысокого выхода. Такие полуфабрикаты состоят из так называемых лигноцеллюлозных волокон. Из лигноцеллюлозных волокон состоит самый распространенный материал в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) – гофрокартон, независимо от композиции на основе первичных или вторичных волокон. Лигнин представляет собой сетчатый объемный термопластичный полимер нерегулярного строения ароматического характера с наличием различных функциональных групп. В отличие от

углеводных полимеров – целлюлозы и гемицеллюлоз, лигнин незначительно взаимодействует с водой, проявляя скорее гидрофобный характер.

Лигнин – ароматическая часть древесины. Массовая доля лигнина в древесине хвойных пород составляет 27–30 %, а в древесине лиственных пород – 18–24 %. Лигнин в отличие от углеводов не является индивидуальным веществом, а представляет собой смесь ароматических полимеров родственного строения. Именно поэтому невозможно написать его структурную формулу. Современное состояние знаний о химической структуре лигнина находит отражение в виде схем его строения. Последняя из них представлена на рис. 2.17.

В то же время известно, из каких структурных единиц он состоит и какими типами связей эти единицы объединены в макромолекулу. Мономерные звенья макромолекулы лигнина – финилпропановые единицы (ФПЕ). Хвойный лигнин состоит практически целиком из одинаковых структурных единиц типа I (гваяцилпропановых). В состав лиственного лигнина кроме единиц типа I в большом количестве входят единицы типа II (сирингилпропановые). В состав некоторых лигнинов главным образом травянистых растений входят единицы, не содержащие метоксильных групп, типа III (гидроксифенилпропановые). На примере единицы типа I показаны принятые в химии лигнина обозначения атомов углерода в ФПЕ (рис. 2.18).

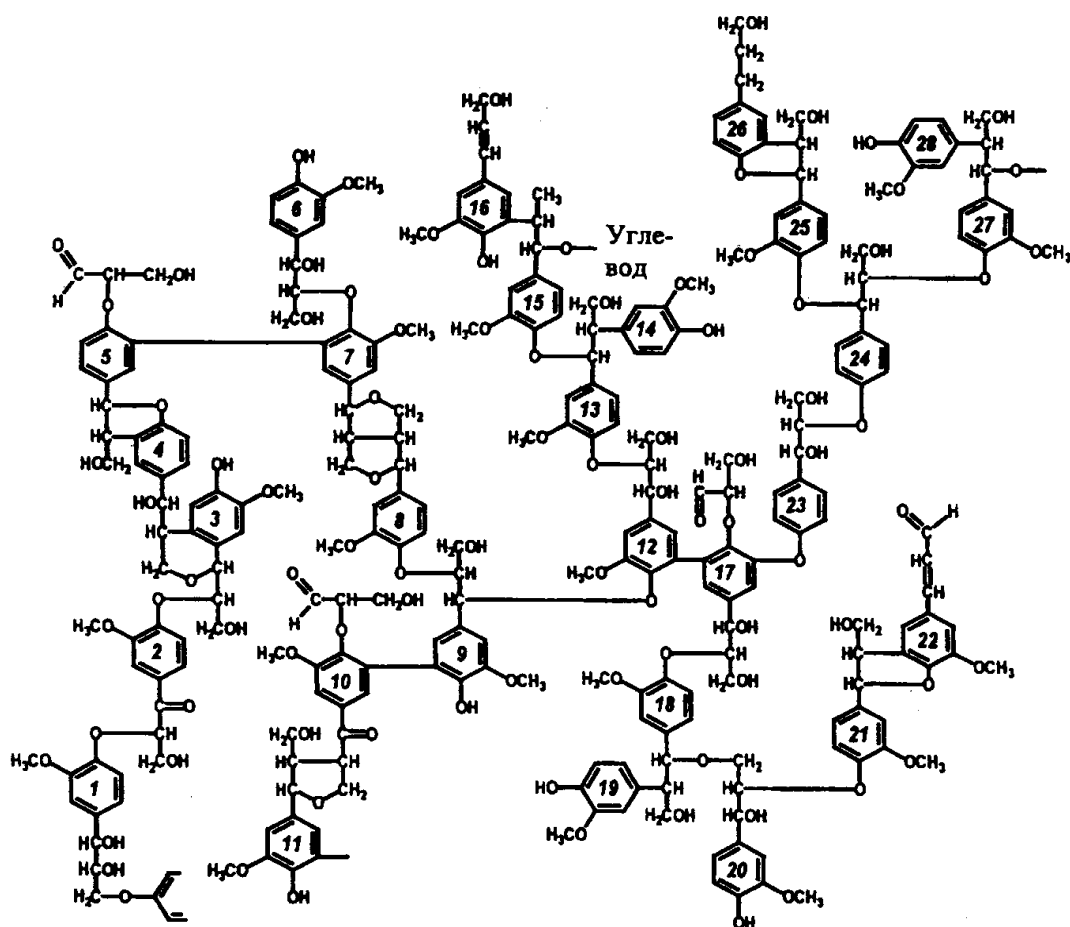


Рис. 2.17. Схема строения хвойного лигнина

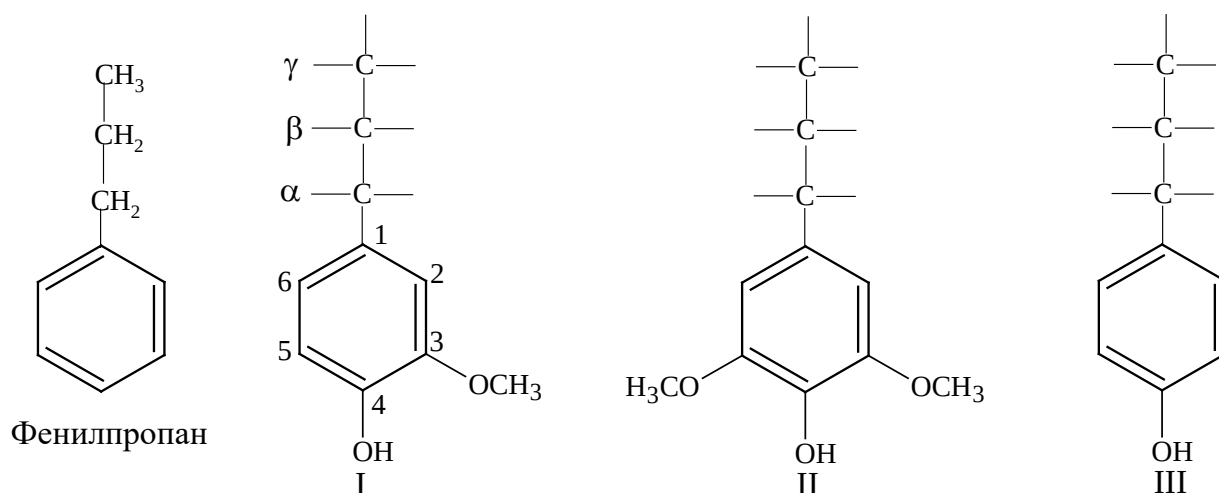


Рис. 2.18. Типы финилпропановых единиц лигнина

В пропановых боковых цепях структурных единиц содержатся различные функциональные группы, и поэтому любой лигнин является сополимером. Лигнин не имеет регулярного строения, в отличие от важнейших биополимеров – целлюлозы и белков. Структурные единицы связаны между собой связями различных типов: кислородными (простыми эфирными) и углерод-углеродными. Этим лигнин отличается от целлюлозы и от других полисахаридов древесины. Наличие в некоторых ФПЕ лигнина фенольных гидроксильных групп является причиной более легкой окисляемости лигнина по сравнению с полисахаридами.

На рис. 2.19 представлена модель целлюлозного волокна, созданная на основе анализа чистой (хлопковой) целлюлозы с использованием электронной микроскопии, рентгеновского и спектрального анализа. На основе этой модели целлюлозное волокно представляет собой клеточную стенку исходного материала. В случае древесины эта стенка деструктирована в процессах производства полуфабрикатов, поскольку из них удалены значительные количества лигнина и сопутствующее небольшое количество целлюлозы и гемицеллюлоз.

При рассмотрении более мелких элементов волокна, получаемых путем уменьшения размеров анализируемых объектов, видно, что волокно состоит из все более мелких волоконцев, сложно ориентированных по отношению к основному волокну – фибрилл, микрофибрилл, нанофибрилл. Фибриллы и микрофибриллы реально доступны для анализа с использованием электронных микроскопов с высокой степенью разрешения. Нанофибриллы – скорее предположительные элементы структуры волокна, размеры которых практически не определимы существующими методами анализа, но их наличие не противоречит современной модели строения волокна. Каждая нанофибрилла содержит 100–150 макромолекул целлюлозы, достаточно сложно организованных. Очень важно отметить, что в процессах производства бумаги и картона элементами, из которых построены эти материалы, являются волокна и

в определенной степени фибриллы. Расщепление на более мелкие составные элементы – микрофибриллы и нанофибриллы в процессах массоподготовки и бумагообразования не происходит. Разделение до отдельных макромолекул происходит в процессе растворения целлюлозы в специальных реагентах при использовании целлюлозы для химической переработки.

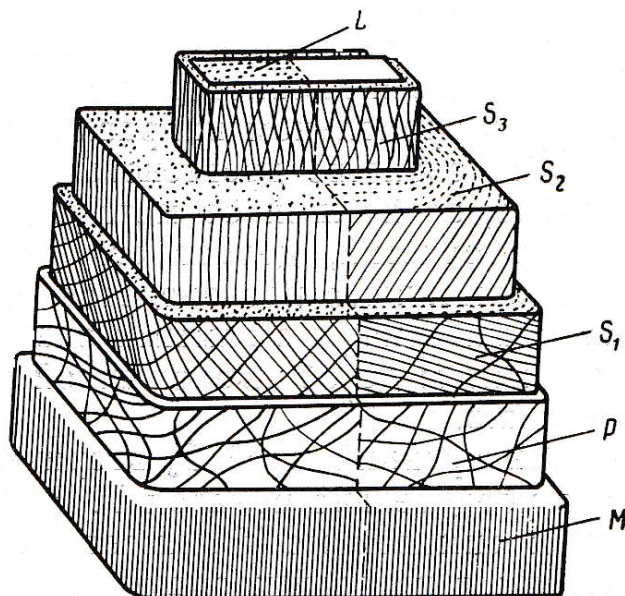


Рис. 2.19. Схема строения клеточной стенки волокна лиственной (левая половина) и хвойной (правая половина) древесины: *М* – межклеточное вещество; *Р* – первичная стенка; *S1*, *S2*, *S3* – наружный, средний и внутренний слои вторичной клеточной стенки; *L* – люмен

Рентгеноструктурный анализ показывает, что часть целлюлозного материала имеет упорядоченную, кристаллоподобную структуру, часть – аморфная, неупорядоченное строение (рис. 2.20).

Соотношение упорядоченных и аморфных областей приблизительно одинаковое, иногда небольшим превышением в сторону кристаллоподобных структур. В процессе размола рентгенограмма целлюлозного материала, как правило, не меняется.

Часть целлюлозного материала с высокой степенью упорядоченности представляет собой кристаллоподобные структуры с постоянными параметрами кристаллической решетки, которая состоит из шестичленных циклов макромолекулы целлюлозы, имеющих определенную пространственную ориентацию, так называемую конформацию. Эти конформационные структуры связаны достаточно прочными связями, организующими упорядоченную систему.

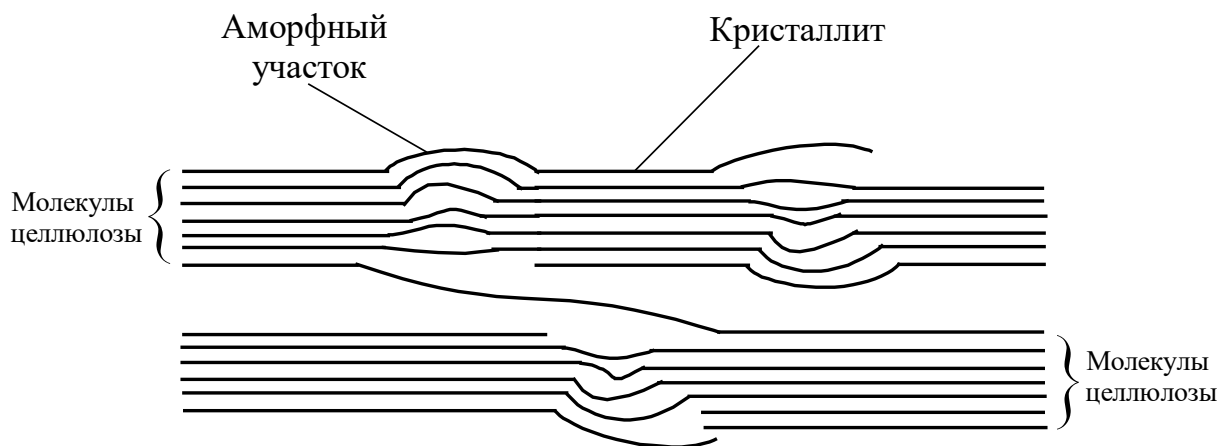


Рис. 2.20. Схема строения бахромчатой микрофибриллы

Целлюлоза по молекулярному состоянию представляет собой линейный полимер, состоящий из длинных цепочек молекул. В целлюлозной цепи все глюкозные звенья лежат в одной плоскости, что обусловлено следующими тремя причинами:

- 1) β -гликозидной связью. Только β -положения ОН-группы при С1 позволяют получить вытянутую молекулярную цепь. Наличие α -ОН-групп и, соответственно, α -гликозидной связи приводит к спиральной молекулярной цепи (как у амилозы в крахмале);
- 2) конформацией пиранозного цикла. Гексагональные циклы, такие как циклогексан, пиран, пиранозный цикл, могут существовать в различных конформациях, крайними формами которых являются «кресла» и «ванна». Наиболее стабильной, т. е. обладающей наименьшей энергией, является конформация «кресло». При нормальной температуре гексанальные циклы принимают наиболее устойчивую форму. Поэтому можно считать, что глюкопиранозные звенья целлюлозы имеет конформация «кресла» (рис. 2.21).
- 3) расположение ОН-групп. Строение молекул целлюлозы представлено на рис. 2.22 и 2.23.

В двух конформациях кресла ОН-групп располагаются по-разному. Они могут находиться выше и ниже цикла (аксиальная конформация) или в плоскости цикла (экваториальная конформация). Экваториальная конформация является преобладающей. При этом глюкозидные звенья цепи целлюлозы расположены в соответствии со стереохимической формулой, показанной на рис. 2.24.

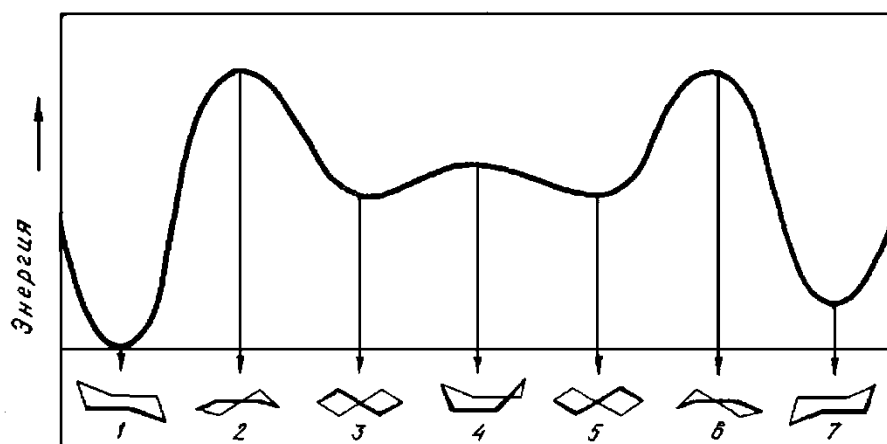


Рис. 2.21. Энергия гексагонального цикла в различных конформациях:
1 – кресло (экв.); 2, 6 – полукресло; 3, 5 – твист-форма; 4 – ванна;
7 – кресло (акс.)

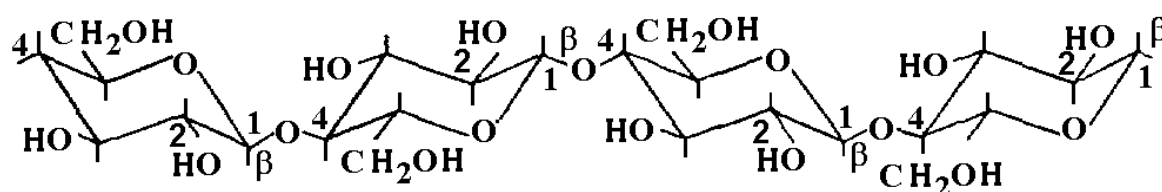


Рис. 2.22. Часть цепной макромолекулы целлюлозы

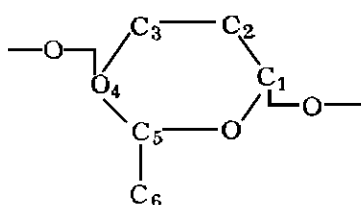


Рис. 2.23. Нумерация атомов углерода в элементарном звене глюкозы

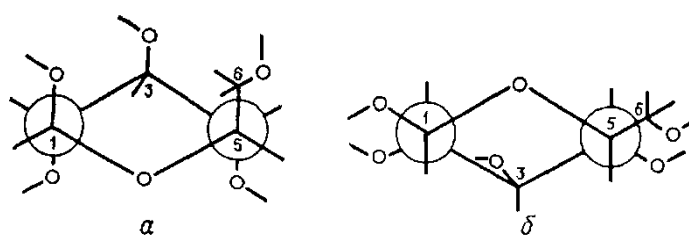


Рис. 2.24. Проекции Ньюмена глюкозного цикла в различных конформациях:
a – аксиальной; *b* – экваториальной

Небольшая доля гликозидных звеньев (менее 2 %) находится в форме более гибкой «ванны» и «твист-форме».

Спектральный анализ показал, что связи в кристаллоподобных структурах являются водородными связями. Водородные связи (Н-связи) характерны для веществ, имеющих в составе функциональные группы, содержащие ион

водорода. Механизм образования водородных связей может быть представлен на примере воды. Вода имеет ряд аномальных характеристик. В частности, высокие значения температуры замерзания и кипения, вязкости, поверхностного натяжения. Эти аномалии находят объяснения, если представить структуру воды, находящейся в жидком состоянии как ассоциативную, где молекулы воды связаны между собой определенными связями. Вода в виде отдельных молекул находится в парообразном состоянии, в жидком виде каждая молекула воды находится во взаимодействии с соседними молекулами (рис. 2.25).

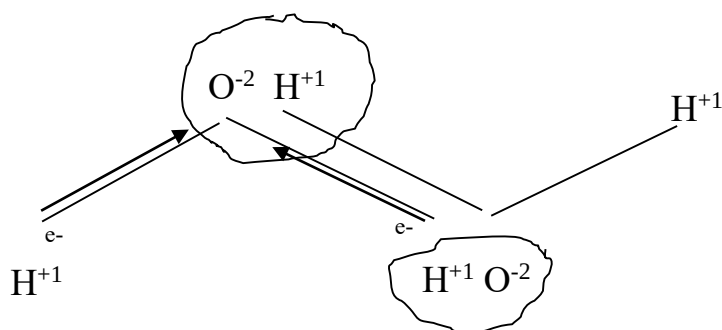


Рис. 2.25. Схема взаимодействия молекул воды

В молекуле воды ион водорода и кислорода связаны ковалентной связью, то есть электронные облака от атомов водорода оттянуты к атому кислорода, на котором образуется избыточная электроотрицательность. В то же время ион водорода оказывается в виде протона, не экранированного электронным облаком. Положительный заряд протона образует электромагнитное поле. Такое состояние протона является энергетически не выгодным и требует нейтрализации, которая осуществляется за счет электроотрицательного поля иона кислорода соседней молекулы воды. Это взаимодействие полей и представляет собой водородную связь. Таким образом, водородная связь имеет электромагнитный характер. Для образования водородной связи присутствие иона водорода является обязательным, в качестве электроотрицательного атома может выступить не только кислород, но и, например, хлор и иными галогены, сера и т. д.

Энергетика водородной связи значительно меньше, чем химической, и зависит от расстояния между центрами атомов водорода и кислорода. Наиболее прочная связь реализуется на расстоянии между атомами 0,24–0,28 нм.

Поскольку в макромолекуле целлюлозы имеется достаточное количество гидроксильных групп, содержащих водород и кислород, водородная связь при достижении необходимого расстояния между ними весьма характерна для волокон, содержащих целлюлозные материалы.

Водородные связи в целлюлозных материалах могут быть внутримолекулярные, межмолекулярные (рис. 2.26), внутриволоконные и межволоконные.

Внутримолекулярные связи могут образовываться при пространственных перемещениях шестичленных циклов одной макромолекулы целлюлозы при достижении гидроксильными группами циклов расстояний, необходимых для реализации водородных связей.

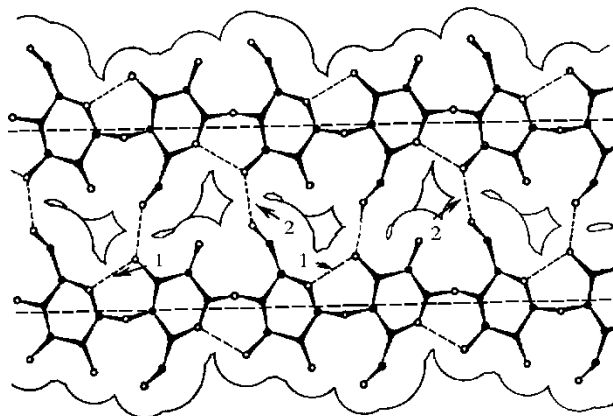


Рис. 2.26. Внутри- и межмолекулярные водородные связи у двух соседних молекул целлюлозы

Межмолекулярные водородные связи образуют в волокнах упорядоченные структуры (кристаллиты). В структуре с высокой степенью упорядоченности практически все гидроксильные группы охвачены водородной связью. В аморфных структурах целлюлозы межволоконные связи возникают при достижении необходимых расстояний между гидроксильными группами, определенное количество гидроксильных групп остается во внесвязанном состоянии.

Внутриволоконные водородные связи возникают между структурными элементами волокна – нанофибриллами, микрофибриллами и фибриллами. Благодаря этим связям исходное волокно представляется достаточно прочным образованием, для расщепления которого необходимо приложить высоких усилий механохимического характера (например, при получении наноцеллюлозы).

Межволоконные водородные связи – это связи отдельных волокон друг с другом, а также между волокнами и фибриллами, получаемыми в результате размола. Именно межволоконные водородные связи возникают в процессе бумагообразования и обеспечивают развитие прочности бумажного полотна в результате размола. Исследования показали, что лишь 1,5–2,5 % от всех гидроксильных групп образуют дополнительно при размоле водородные связи, необходимые для образования прочного листа. Подавляющая часть гидроксильных групп, образующих внутриволоконные связи различного характера, в бумагообразовании не участвуют.

Помимо водородных связей в образовании бумажного листа участвуют силы Ван-дер-Ваальса и силы трения. Силы Ван-дер-Ваальса (определение)

занимают до 20 % в случае использования неразмолотых или слаборазмолотых волокон, для хорошо размолотых волокон до 3 %. Силы трения всегда играют определенную роль в формировании бумажного листа. В большей степени их роль проявляется при использовании полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода, а также вторичных волокон. При оценке сил связи независимо от способа определения оценивается интегральная характеристика, куда входят все существующие связи в данном образце.

В процессе размола с волокном происходит целый ряд изменений, в той или иной степени влияющих на межволоконные образования. Одним из наиболее важных является взаимодействие растительных волокон с водой. Высокая гидрофильность и капиллярно-пористая структура волокна обеспечивает смачивание волокон и проникновение воды внутрь волокна, что сопровождается процессом набухания. Величина набухания неразмолотых волокон ограничена внутриволоконными связями, не допускающими перемещение фибрилл. При размоле происходит ослабление и частичный разрыв межфибриллярных связей благодаря механическому воздействию. Вода при этом более интенсивно проникает в структуру волокна, способствуя дальнейшему ослаблению и разрыву связей. Процесс оводнения и набухания определяется как гидратация волокна. Для оценки степени гидратации используется специальный показатель – водоудерживающая способность (ВУС), разработанный немецким исследователем Джайме. ВУС определяет количество воды, прочно удерживаемое волокнами. У хорошо размолотых волокон ВУС составляет 200–250 %.

Благодаря гидратации в процессе размола происходит увеличение удельной поверхности волокна, что способствует росту количества гидроксильных групп, доступных для образования дополнительных водородных связей. Зависимости увеличения удельной поверхности волокна и ВУС в значительной степени совпадают.

Очень важным эффектом размола являются повышение гибкости и пластичности волокон. Исходные неразмолотые волокна благодаря развитой системе внутриволоконных связей представляют собой достаточно жесткие образования. При контакте таких волокон между собой площадь контакта мала и количество связей невелико. В процессе размола благодаря ослаблению и разрыву связей внутри волокна возрастает подвижность фибрилл, расстояние между ними увеличивается, волокна пластифицируются. Площадь контакта между гибкими и пластичными волокнами значительно увеличивается, как и число связей на этой площади, что приводит к существенному развитию межволоконного связеобразования.

Как уже отмечалось, процесс размола приводит к деструкции волокна. Главными результатами деструкции является укорочение волокна и его фибрилляция. Снижение длины волокна – практически всегда негативный фактор. Однако избежать укорочения волокон при механическом воздействии крайне сложно. Волокна укорачиваются из-за режущего действия ножей гарнитуры интенсивнее с увеличением нагрузки при размоле.

Оценить фибрилляцию волокна с точки зрения конечного результата – повышения прочности бумаги и картона достаточно важно. Фибрилляция может быть внешняя и внутренняя. Внешняя фибрилляция – это частичное или полное отделение фибрилл от основного ствола волокна. При этом увеличивается удельная поверхность волокна, что способствует связеобразованию, но снижается прочность самого волокна. Внутренняя фибрилляция аналогична процессу гидратации и связана с ростом подвижности фибрилл внутри волокна. Внутренняя фибрилляция увеличивает гибкость и пластичность волокон, но в определенной степени также уменьшает прочность единичного волокна.

Растительное волокно представляет собой комплекс находящихся в различных количественных соотношениях природных полимеров – целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина.

В связи с тем, что биосинтез целлюлозы и других полимерных компонентов древесины в природе происходит при обязательном участии воды (т. е. все эти природные полимеры рождаются в воде) для целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина мокрое состояние первично, а сухое состояние является вторичным. Выделение технической целлюлозы из древесины и другого растительного сырья осуществляется в водных средах. Таким образом, как в природных, так и уже в обычных комнатных условиях мокрая целлюлоза находится в высокоэластичном состоянии. При этом для целлюлозных материалов в воде величины модуля упругости соответствуют значениям, характерным для полимеров, находящихся в высокоэластичном состоянии.

Переход из мокрого в сухое состояние для целлюлозы и материалов на ее основе имеет особое значение. Мокрая целлюлоза находится в высокоэластичном состоянии, а сухая застеклована. При сушке целлюлозы происходит изменение релаксационного (физического) состояния. При обычных методах сушки целлюлозы совмещаются процессы обезвоживания (удаления воды) и сушки (удаления жидкости, смачивающей целлюлозу). Происходящее за счет удаления пластификатора (воды), стеклование целлюлозы осуществляется в условиях значительных усадочных напряжений.

При получении бумаги и картона применяются водные суспензии целлюлозных волокнистых полуфабрикатов. При получении бумаги и картона усадочные напряжения играют положительную роль, стягивая при сушке фибриллярные элементы бумажного листа до расстояний, на которых в максимальной степени реализуются все возможные межволоконные связи за счет образования молекулярных связей между гидроксильными группами макромолекул, находящихся на поверхности фибриллярных надмолекулярных образований. Последующее стеклование фиксирует такую стянутую структуру бумажного листа. Соответственно основные стадии получения бумаги (размол, отлив, прессование, сушка) направлены на создание межволоконных связей в бумаге с целью получения прочного листа.

Возникновение прочности бумажного листа связано с изменением релаксационного состояния полимерных компонентов растительной ткани.

При получении бумаги в образовании межфибриллярных водородных связей принимает участие тот полимер, который находится на поверхности

фибрилл. При переходе от древесной массы к небеленой целлюлозе, беленой древесной целлюлозе и далее к хлопковой целлюлозе меняется вид полимера, находящегося на поверхности фибрилл. Поэтому для различных видов бумаги вклад лигнина, гемицеллюлоз и целлюлозы в возникновение прочности бумажного листа меняется в широких пределах. При получении бумаги из древесной массы или не полностью делигнифицированной древесной целлюлозы на поверхности фибрилл находятся продукты механо- или хемодеструкции лигнина, которые и являются таким полимером – связующим. В бумаге из хлопковой целлюлозы межволоконные связи обеспечиваются структурными изменениями при сушке самой целлюлозы.

В соответствии с традиционными представлениями о лигнине он является гидрофобным полимером и препятствует набуханию и фибриллированию волокон. Кроме того, присутствуя на поверхности волокон, лигнин сам не образует межволоконных связей целлюлозой и гемицеллюлозами.

Однако хорошо известно, что лигнин содержит значительное количество функциональных групп, потенциально способных к образованию межволоконных водородных связей. Так, в лигнине содержатся гидроксильные группы двух типов – фенольные, связанные с бензольным кольцом, и спиртовые, находящиеся в пропановой цепи. Общее содержание гидроксильных групп обоих типов составляет 110–120 групп на 100 фенилпропановых единиц.

Кроме того, в лигнине содержатся карбонильные группы двух типов – альдегидные и кетонные. Общее содержание этих групп составляет в среднем 20 групп на 100 фенилпропановых единиц. Карбоксильные группы присутствуют в лигнине в небольшом количестве – в среднем 56 групп на 100 фенилпропановых единиц.

Таким образом, на каждую фенилпропановую единицу лигнина приходится 1,3–1,4 группы, способные к образованию межволоконных водородных связей.

Конечно, в целлюлозе таких групп 3 на одно глюкопиранозное звено. Но гидроксильных, способных к межволоконному связеобразованию, значительно меньше, поскольку большая часть из них связана сильной водородной связью в кристаллических участках целлюлозы. Тем не менее межволоконное связеобразование мы совершенно справедливо связываем с гидроксильными группами целлюлозы.

Практика показывает, что лигнин, несмотря на достаточное количество функциональных групп, потенциально способных к образованию водородных связей, не участвует в межволоконном связеобразовании, более того, препятствует образованию связей целлюлозой.

Действительно, с ростом выхода волокнистых полуфабрикатов и, соответственно, ростом содержания в них лигнина, прочность полученных из них бумаги и картона значительно уменьшается.

Все же следует отметить, что реальные практические результаты в свете вышеизложенного не находят убедительного разъяснения. Иными словами, непонятно, почему при наличии достаточного количества в лигнине функциональных групп, способных к образованию водородных связей, лигнин

не образует связей между растительными волокнами в процессе производства бумаги и картона.

Для ответа на этот вопрос необходимо обратиться к основным положениям теории физического (релаксационного) состояния полимеров, составляющих лигнофицированные волокна – целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин.

К выводам, полученным на основании этой теории и имеющим крайне важное значение для производства бумаги, картона и гофрокартона, следует отнести:

- положение о том, что целлюлоза и гемицеллюлозы могут перейти из стеклообразного состояния в высокоэластичное при температуре 220 °С, однако в реальных условиях этот переход происходит при комнатной и даже минусовой температуре при условии пластификации достаточным количеством воды;

- переход лигнина из стеклообразного в высокоэластичное состояние происходит при температуре свыше 130 °С, а в условиях достаточного увлажнения – при температуре 80–120 °С;

- образование прочных межволоконных связей возможно лишь в случае состояния полимеров, образующих контакт в высокоэластичном либо вязкотекучем состоянии.

Рассматривая процессы размола, отлива, прессования и первой стадии сушки, следует отметить, что целлюлозная и гемицеллюлозная составляющая волокон постоянно находится в расстеклованном высокоэластичном состоянии, то есть потенциально готова к связеобразованию, что и реализуется на последующих стадиях процесса сушки.

При этом лигнин, которого вполне достаточно в лигнофицированных волокнах, находится в стеклообразном состоянии, поскольку при размоле, отливе и прессовании при наличии необходимого количества воды температура процесса никоим образом не достигает 80 °С. Эта температура возможна в процессе сушки, но там воды явно недостаточно. При достижении сухости 55–60 %, где начинается образование прочных водородных связей, межволоконная вода практически отсутствует.

Таким образом, можно сделать вывод, что лигнин в технологическом процессе производства бумаги и картона постоянно находится в стеклообразном состоянии, и это основная причина неучастия лигнина в образовании межволоконных водородных связей.

Исходя из вышеизложенного, в лигнофицированных волокнах, используемых для производства лайнера и флютинга, составляющие волокна полимеры находятся в процессе изготовления бумаги и картона в различных релаксационных состояниях.

Стеклообразное состояние лигнина исключает его участие в образовании водородных связей, но предположительно способствует увеличению доли сил трения в интегральных силах связи, что отмечалось в одной из кандидатских диссертаций.

Наиболее доступный и распространенный, но далеко не самый оптимальный способ контроля процесса размола – определение степени помола по Шоппер-Риглеру (°ШР).

Простые по конструкции аппараты Шоппер-Риглера имеются практически на всех предприятиях ЦБП. Методика оценки степени помола достаточно проста и легко выполнима. В зарубежных странах существует методика оценки степени помола по канадскому стандарту. Показатели по канадскому стандарту легко пересчитываются на показатели по ° ШР.

Степень помола бумажной массы определяет ее скорость обезвоживания в регистровой части БДМ и КДМ. Показатель в ° ШР зависит от характеристики волокнистого фильтра, образующегося на сетке аппарата, скорость фильтрации через который определяется режимом размола волокна. Волокнистый фильтр может состоять из хорошо набухших гидратированных волокон либо из укороченных, плотно уложенных волокон. Степень помола при этом может быть близкой по значению, но показатели прочности бумаги из таких волокон, совершенно различны.

Показатели степени помола в значительной мере зависят от содержания в бумажной массе мелочи, то есть коротковолокнистой фракции размером порядка 0, 1 мм. Так, ° ШР после размола бумажной массы и ° ШР после смешения ее с оборотной водой в смесительных устройствах (то есть в напорном ящике) увеличивается в среднем на 10–15 °ШР. При этом адекватного увеличения прочности готового материала не происходит.

Степень помола значительно меняется при составлении композиции из различных видов полуфабрикатов, а также при введении в поток оборотного брака. Полученный средний результат практически никак не связан с конечной прочностью.

Степень помола активно реагирует на введение многих химических вспомогательных веществ. Так, обезвоживающие реагенты и флокулянты снижают показатели в ° ШР, связующие добавки, как правило, их повышают. Влияние на прочность бумаги при этом неоднозначно.

Определение степени помола для полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода используется для контроля за режимом полумассного размола или рафинирования. Обычно показатели в ° ШР для этих процессов не связывают с конечной прочностью готовых композиционных видов бумаги и картона.

Значительно более сложным, чем для свежих волокнистых полуфабрикатов, представляется контроль процесса размола для вторичных волокон.

В зависимости от вида, композиции и цикличности макулатуры, степень ее помола после роспуска будет различной и может колебаться на 20–25 °ШР. Для макулатуры, используемой в производстве писче-печатных и санитарно-гигиенических видов бумаги, размол чаще всего вообще не производится. В производстве материалов на основе макулатурного волокна размол необходим. При наличии фракционирования размалывается обычно длиноволокнистая фракция. Оценка степени помола отдельных фракций полезна для контроля процессов массоподготовки и в целом макулатурной массы.

Таким образом, показатель степени помола является малоинформативным, поскольку практически не выполняет прогнозирующей функции. В

исследовательской практике часто используются такие показатели, как время размола, длина волокна и фракционный состав по волокну, ВУС. Эти показатели более объективны и информативны. Появление специальных приборов для достаточно полной оценки характеристики волокнистой массы (Файбер-тестер, Морфи). Достаточно быстрое определение с использованием компьютерных программ позволяет оценить сразу несколько важных показателей – среднюю длину волокна, фракционный состав по длине, диаметр волокна, грубость волокна, степень деформации и другие показатели, которые дают объективную информацию о волокнах и позволяют оценить режимы размола, обезвоживающие характеристики и условия формирования показателей бумаги и картона.

Однако наиболее объективным и точным методом оценки качества процесса размола являются показатели прочности и другие характеристики материалов на накате, то есть свойства готовой продукции. Естественно, эти свойства зависят не только от размола волокна, но оценив вклад этого процесса при прочих равных условиях производства, крайне важно для выбора технологии и оборудования массоподготовки.

Современное оборудование для осуществления процесса размола можно разделить на две неравные группы – ножевые мельницы (большая часть) и безножевые аппараты (главным образом для макулатурной массы и отчасти для коротковолокнистых полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода). Мельницы с ножевой гарнитурой работают по принципу скрещивания ножей. Первым аппаратом такого типа был ролл, изобретенный в Голландии в XVII в. В процессе размола в водной среде волокна попадают в зазор между ножами ротора и статора и подвергаются при этом сжатию и сдвигу (рис. 2.27).

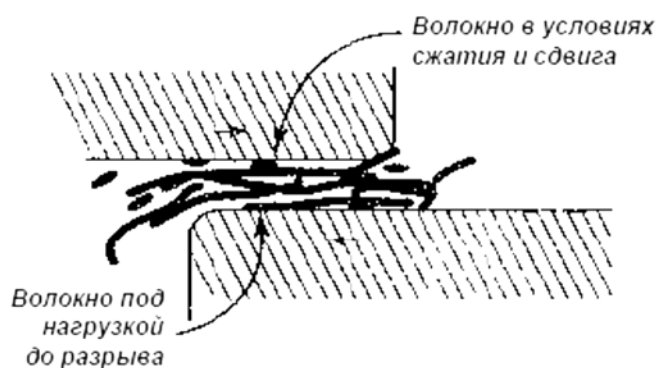


Рис 2.27. Конфигурация волокон при прохождении между ножами ротора и статора

Величина сжимающих нагрузок зависит от величины зазора и концентрации волокон. На сдвиговое усилие также влияют эти параметры и коэффициенты трения между волокном и ножами и между волокнами. Уровень нагрузок, которые испытывают волокна в зазоре между ножами, определяют

направление процесса размола – гидратация, пластификация, укорочение волокна.

Основными параметрами процесса размола являются удельный расход энергии (УРЭ) и удельная нагрузка на кромки ножей, зависящая от зазора между ножами ротора и статора мельницы.

В современных условиях основными аппаратами для размола свежих волокнистых полуфабрикатов являются дисковые и конические мельницы. Как следует из названия, основными размалывающими органами в них являются диски и конусные поверхности с ножевой гарнитурой. Зазоры между ножами регулируются перемещением ротора.

В конических мельницах ножевая гарнитура располагается на внутренней поверхности статора и наружной поверхности ротора (рис. 2.28 и рис. 2.29).

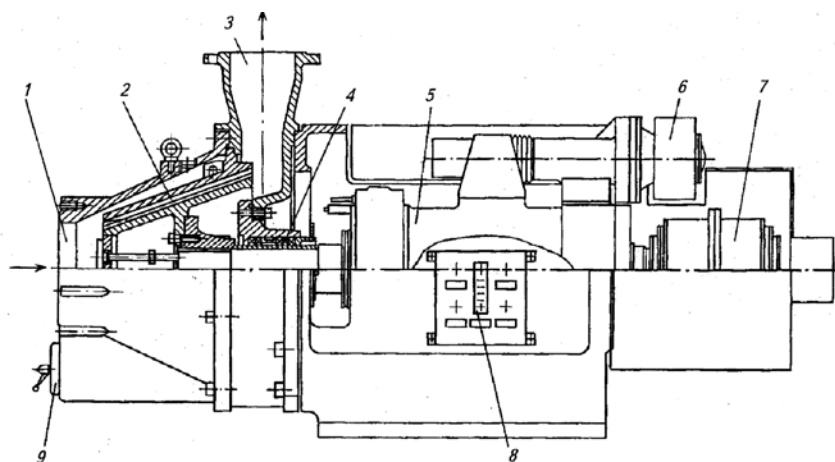


Рис. 2.28. Конструкция мельницы Conflo модели IC-01: 1 – вход массы; 2 – гарнитура, размалывающая; 3 – выход массы; 4 – уплотнение вала; 5 – сборочный узел вала; 6 – механизм присадки; 7 – зубчатая муфта; 8 – расходомер уплотнительной воды; 9 – грязевик

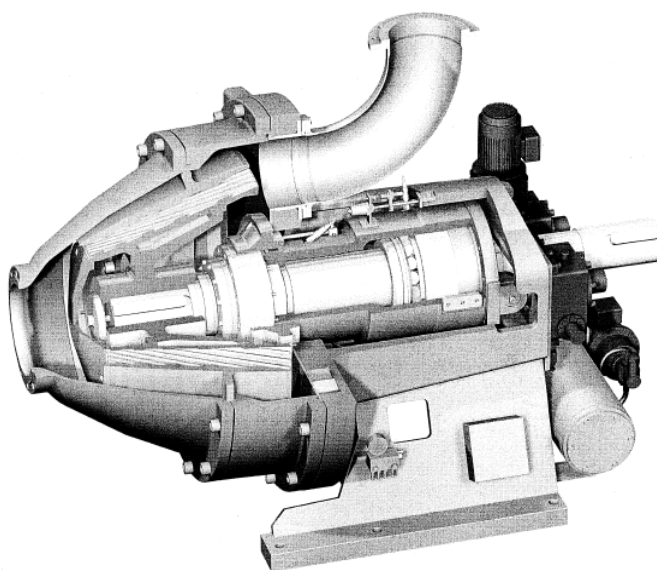


Рис. 2.29. Общий вид мельницы типа OptiFiner RF

Регулирование зазора или присадка мельницы осуществляется за счет перемещения ротора вглубь статора, при этом сокращается расстояние между ножами. Регулирование зазора достаточно точное, так как осязательное перемещение ротора вызывает незначительное сближение ножей. Конические мельницы имеют развитую поверхность размола, что способствует большей интенсификации размола.

Основным недостатком конических мельниц первого поколения (середина XX в.) была малая ремонтпригодность. Для контроля состояния износа ножевой гарнитуры требовался демонтаж подшипниковых узлов, что требовало длительного времени. Современные конические мельницы лишены этого недостатка, так как размалывающий орган вынесен за подшипники и доступ к гарнитуре упрощен. Одной из первых конических мельниц такого рода была мельница Конфлю.

Не меньшее развитие и распространение получили дисковые мельницы (рис. 2.30 и рис. 2.31). Регулирование присадки в них требует большей осторожности, так как величина зазора совпадает с перемещением ротора. Мельницы доступны в обслуживании. Интенсивность размола в дисковых мельницах при необходимости обеспечивается сдвоенной конструкцией (два статора, один ротор). Определенным преимуществом дисковых мельниц является возможность подбора гарнитуры для данного полуфабриката и режима размола.

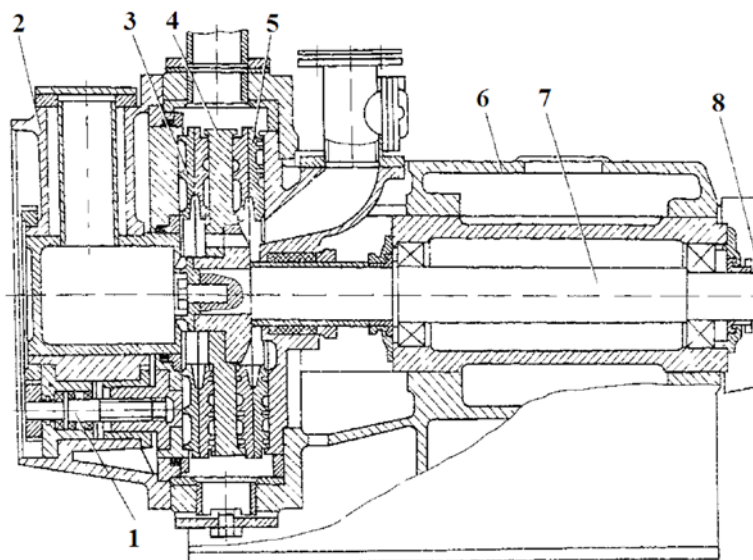


Рис. 2.30. Сдвоенная дисковая мельница типа МДС-14:

1 – винтовая пара; 2 – крышка камеры; 3 – статор; 4 – диск ротора;
5 – гарнитура, размалывающая; 6 – станина; 7 – вал ротора; 8 – муфта

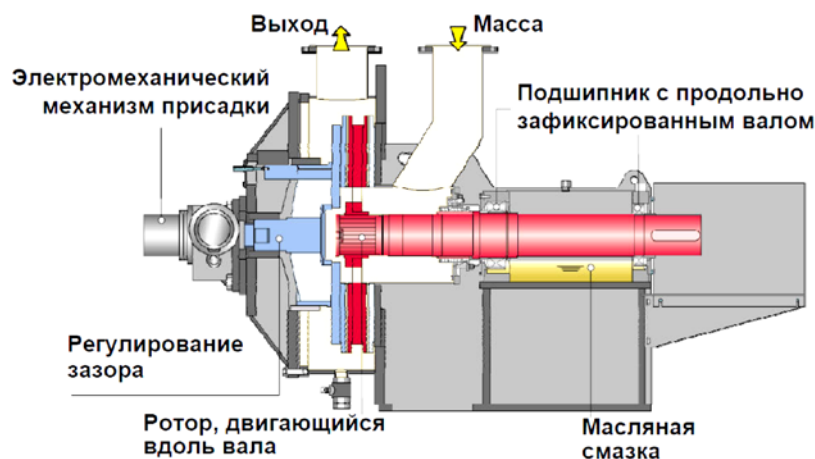


Рис. 2.31. Конструкция мельницы Twin Flo фирмы Voith

Дисковые и конические мельницы с успехом используются и для размола макулатурной массы в основном для длиноволокнистой фракции. Принципиальным отличием от размола свежих волокнистых полуфабрикатов является сниженная величина нагрузки. Удельная нагрузка на кромки ножей в случае макулатурной массы в 5–6 раз меньше, чем для свежих волокон.

Аппараты для размола безножевого типа используются чаще для размола макулатурной массы. Разновидностей этих аппаратов в зависимости от типа силового воздействия довольно много. К ним относятся роторно-пульсационные аппараты, акустические, кавитационные. Как правило, аппараты безножевого типа обеспечивают мягкий гидратирующий размол и высокие показатели прочности конечной продукции.

Основной недостаток – высокий УРЭ. По этой причине подобные виды размола не получили практического развития, за исключением энтштипперов и пульсационных мельниц – аппаратов роторно-пульсационного типа. Энергоемкость этих аппаратов невелика, но их использование ограничивается предварительным размолем (дороспуском и доволоknением) волокна при этом практически не укорачиваются и степень помола почти не возрастает.

Таким образом, основным видом массного размола является размол в ножевых аппаратах. Появление новых конструкций мельниц связано со стремлением обеспечить высокое качество размола и меньшие значения УРЭ, хотя понятно, что это в целом противоречивые показатели.

Основные факторы, влияющие на процесс размола, можно с той или иной степенью приближения разделить на две категории – постоянные, неизменяемые и переменные, регулируемые. К постоянным следует отнести:

- природа размалываемого волокна;
- вид размалывающего аппарата;
- окружная скорость ротора и вид гарнитуры.

Переменные факторы:

- продолжительность размола;
- нагрузка при размоле;

- концентрация волокнистой массы;
- температура, рН среды, наличие различных добавок.

Природа размалываемого волокна, определяется породой древесины либо характером других источников волокон (однолетние растения), способом получения волокон, а также предысторией волокон (первичные или вторичные волокна).

Способность волокон к размолу входит перечень бумагообразующих свойств и определяется как прирост степени помола в °ШР за 10 минут стандартного размола. В связи с малой информативностью этого показателя данный метод используется крайне редко.

Значительный объем исследований и производственный опыт позволили сформулировать несколько заключений о влиянии природы целлюлозных полуфабрикатов как постоянного фактора размола, а именно:

- хвойные виды целлюлозы размалываются медленнее и требуют больших нагрузок при размолу, чем лиственные. Основная причина – различная морфология волокна и большее количество гемицеллюлоз в лиственных полуфабрикатах;

- размол сульфатной хвойной целлюлозы требует большего расхода энергии (УРЭ), чем сульфитная при сопоставимых выходах в связи с большей деструкцией волокон при кислой варке;

- чем выше выход целлюлозы, тем труднее она размалывается главным образом из-за наличия большого количества лигнина, не переходящего в процессе размола в высокоэластическое состояние.

Полуфабрикаты высокого и сверхвысокого выхода получают интенсивную механическую обработку в процессе их производства в виде полумассного размола. Поэтому массный размол для этих полуфабрикатов либо не используется вообще, либо носит выравнивающий доволокнующий характер.

Полуфабрикаты на основе природных длинных волокон (хлопок, лен, некоторые другие) размалываются медленно, требуют высокого УРЭ преимущественно из-за малой деструкции и практического отсутствия гемицеллюлоз.

Размол вторичных волокон имеет целью не столько увеличение прочности конечного продукта, сколько сохранение потенциальной возможности для макулатуры получить требуемый материал на ее основе. Зачастую писчебечатные вторичные материалы не проходят основного размола, достаточно доволокнуения в энтштипперах или пульсационных мельницах. Ящичная и иная небеленая макулатура требует размола с предварительным фракционированием. При этом на размол поступает главным образом длинноволокнистая фракция, содержащая в основном вторичные волокна на основе сульфатной хвойной целлюлозы. Для размола длинноволокнистой фракции желательно использование специальной гарнитуры и сниженных в 5–6 раз удельных нагрузок по сравнению с размолу свежих волокон. При размолу вторичного волокна необходимо учитывать композицию макулатуры, ее цикличность и степень очистки.

К числу постоянных факторов размола на данный момент времени реального производства является вид размалывающего аппарата. Подбор мельницы – важный технологический и экономический фактор. Мельница подбирается в соответствии с производительностью потока. Установка мельницы с большей, чем необходимо, производительностью увеличивает УРЭ. В процессе модернизации технологического потока, как правило, происходит замена размалывающего оборудования на более производительное, с уменьшением УРЭ и оптимизированное для данного вида волокна и свойств готовой продукции.

В определенной степени к постоянным факторам размола следует отнести окружную скорость ротора и вид гарнитуры. Обычно эти параметры остаются неизменными, но при необходимости они могут меняться. Увеличение окружной скорости ротора увеличивает гидратирующий эффект размола из-за снижения времени силового воздействия на волокно и увеличения частоты пульсационных эффектов. При этом возрастает УРЭ.

Гарнитура ножевых мельниц характеризуется материалом и конфигурацией размалывающих ножей, шагом и углом наклона ножей на роторе и статоре, глубиной и шириной канавок между ножами. Изменение этих параметров может создавать как гидратирующий, так и укорачивающий тип размола.

Воздействие гарнитуры на волокно необходимо рассматривать с учетом переменных факторов размола, в особенности нагрузки и концентрации волокна. При оптимальной нагрузке и наиболее часто используемых концентрациях (3–4 %) гидратирующий эффект возрастает при снижении толщины ножей и ширины канавок между ними.

Подбор гарнитуры в значительной степени определяется видом волокна и требованиями к готовой продукции. Вторичные факторы – УРЭ и долговечность гарнитуры.

Варианты конфигурации ножевой гарнитуры дисковых мельниц достаточно разнообразны и позволяют подобрать оптимальный рисунок гарнитуры (рис. 2.32). Как правило, гидратирующая гарнитура требует большего УРЭ.

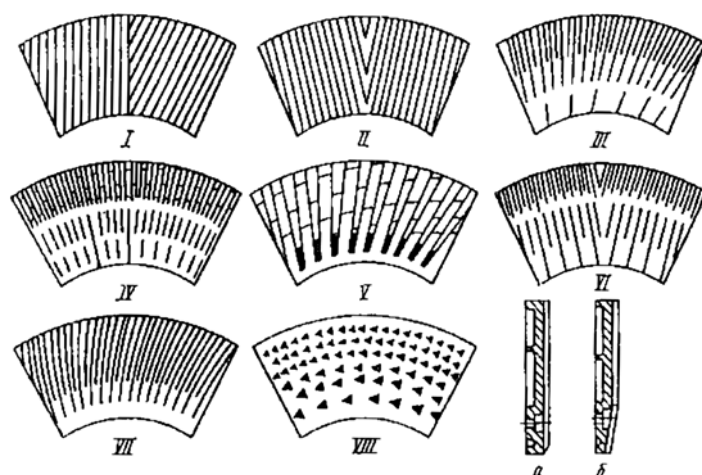


Рис. 2.32. Варианты конфигураций ножевой гарнитуры дисковых мельниц:
 I – параллельное однонаправленное; II, VI – параллельное разнонаправленное (зеркальное); III, IV, V – расходящиеся ножи: под углом к радиусу (III, V) и радиальные (IV); VII – спиральное; VIII – шипообразная гарнитура;
 а – сечение гарнитур I, II, III типов для массы низкой концентрации;
 б – сечение гарнитур IV, V, VI типов для массы высокой концентрации

Продолжительность размола определяется в большинстве случаев способностью волокон к размолу и параметрами готовой продукции. В условиях непрерывного размола его продолжительность регулируется числом последовательно установленных мельниц или количеством ступеней размола. Для массовых видов продукции, в том числе и на основе вторичного волокна, чаще всего достаточно 1–2 ступеней.

Для тех видов бумаги и картона, где требуется высокая степень разработки волокна, число ступеней может быть увеличено до 3–4 и более. При этом значительно возрастает УРЭ. Для получения гидратирующего эффекта желательно увеличение числа ступеней размола при снижении нагрузки на каждую ступень, что также увеличивает УРЭ. Увеличение продолжительности размола путем пропускания бумажной массы через один аппарат несколько раз с использованием промежуточного бассейна или путем дросселирования на выходе из мельницы в настоящее время используется крайне редко.

Влияние концентрации волокнистой массы при размоле определяется общей закономерностью – чем выше концентрация, тем выше гидратирующее воздействие. Для различных видов продукции концентрация при размоле может изменяться от 1–2 % до 30–32 %. Чем выше концентрация волокна, тем толще прослойка волокон между ножами и меньше силовое воздействие ножей на каждое волокно. Волокно меньше укорачивается и больше пластифицируется и гидратируется. При высоких и сверхвысоких концентрациях (выше 20 %) силовое воздействие осуществляется путем трения волокон друг о друга при сниженных нагрузках. Размол при высоких концентрациях с успехом используется для высокопрочных видов продукции – мешочная бумага, реже –

крафтлайнер. Для размолу при высоких концентрациях требуются специальные рафинеры со шнековой подачей волокна в зону размолу. При повышении концентрации значительно возрастает УРЭ.

Нагрузка при размоле, или степень присадки ротора, определяет расстояние между ножами ротора и статора и может изменяться от 0,1 мм до нескольких миллиметров. Нагрузка определяет величину давления на волокно в зоне размолу. Чем меньше расстояние между ножами ротора и статора, тем меньшее количество волокон попадает в зону размолу и большее силовое воздействие приходится на одно волокно. Большая нагрузка создает увеличенное укорочение волокна, при этом ниже УРЭ при размоле.

Нагрузка при размоле наряду с концентрацией массы – наиболее действенные переменные факторы для регулирования процесса размолу.

Для вторичных волокон нагрузки при размоле значительно ниже, чем для свежих полуфабрикатов, поскольку волокна уже деструктурированы и при высокой нагрузке очень велика опасность укорочения волокон и потеря прочности готового материала.

К переменным факторам размолу следует отнести температуру массы, рН среды, наличие гидрофильных добавок. Взаимодействие растительных волокон с водой – экзотермическая реакция, то есть сопровождается выделением тепла. Снижение температуры ускоряет набухание. Кроме того, вода из-за высокой вязкости при низких температурах лучше задерживается на поверхности и внутри волокон. В то же время для полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода полумассный размол происходит при высоких температурах (130–180 °С), что приводит к пластификации лигнина и его переходу в высокопластическое состояние, это необходимо для разволокнения материала.

Благодаря интенсификации набухания размол интенсивнее происходит в нейтральной или слабощелочной среде. В кислой среде существует тенденция к укорочению волокна и снижению гидратирующего эффекта. Интенсификация размолу путем регулирования рН редко используется в практике, тем более что размол в слабощелочной среде приводит к снижению белизны беленого волокна.

Гидрофильные химические добавки (крахмал, карбоксиметилцеллюлоза и др.) снижают необходимую продолжительность размолу и УРЭ. Гидрофильные добавки в массу используют главным образом для связующего эффекта, влияние на размол является сопутствующим эффектом.

Перспективным для размолу является использование ферментных технологий. Определенные ферменты (целлюлаза, лигниназа) при определенных дозировках потенциально могут в значительной степени усиливать необходимые параметры размолу, что должно приводить к снижению УРЭ при достижении необходимых показателей продукции.

Таким образом, постоянные и переменные факторы размолу определяют в целом его эффективность. Их влияние достаточно разнообразно, но практически всегда подтверждают основное положение – качество размолотой волокнистой массы и показатели прочности готовой продукции тем выше, чем больше УРЭ процесса размолу.

Благодаря активному воздействию на волокна, приводящему к значительным изменениям морфологии, структуры и поверхностных характеристик волокон, процесс размол в высокой степени влияет как на ход явлений, характерных для массоподготовительных отделов БДМ и КДМ, так и на свойства бумаги и картона. Следует отметить, что это влияние оказывается многоплановым, разносторонним и разнонаправленным.

Размол активно влияет на основные свойства бумажной массы как волокнистой структуры, изменяя вязкость системы, реологические характеристики, агрегативную устойчивость, хлопьеобразование, подвижность элементов, составляющих структуру. Главными причинами этих изменений является гидратация и меняющаяся дисперсность волокон. В свою очередь изменение свойств и параметров бумажной массы во многом определяет условия транспортировки бумажной массы, ее очистки и сортирования, ход физико-химических явлений в процессе массоподготовки и мокрой части БДМ и КДМ, интенсивность обезвоживания в сеточной, прессовой и сушильной части машины.

Размол значительно влияет на показатели прочности и многие иные характеристики бумаги и картона (рис. 2.33).

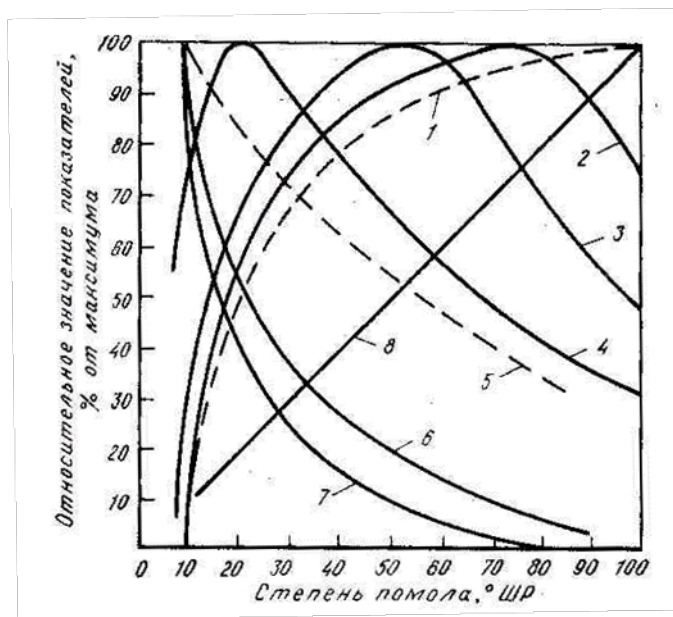


Рис. 2.33. Типичное изменение основных свойств бумаги в зависимости от степени помола массы: 1 — силы связи между волокнами; 2 — разрывная длина; 3 — сопротивление излому; 4 — сопротивление раздиранию; 5 — средняя длина волокна; 6 — впитывающая способность; 7 — воздухопроницаемость; 8 — деформация

При этом для многих показателей зависимость носит экстремальный характер, что свидетельствует о неоднозначности влияния размол благодаря

одновременно протекающим процессам гидратации и укорочения. В процессе размола увеличивается плотность (удельная масса в г/см³) бумажного листа, играющая заметную роль в формировании многих показателей. Оптимальные значения для многих показателей не совпадают по степени разработки волокна. Достижение высокой прочности на разрыв требует более интенсивного размола, при этом сопротивление раздиранию и излому достигают максимума при значительно меньшей интенсивности.

Достаточно сложным является влияние размола на деформационные показатели картона (торцевое и плоскостное сжатие, сжатие на коротком расстоянии), крайне важные для эксплуатационных характеристик гофротары.

Как правило, размол снижает впитывающую способность бумаги, воздухопроницаемость, пористость, ухудшает оптические характеристики бумаги из беленых волокон.

Таким образом, сложность явлений, сопровождающий процесс размола, определяет и сложность зависимостей от этого процесса большинства характеристик бумаги и картона.

2.3. Процессы массоподготовительных отделов

Основной задачей массоподготовительного отдела в технологическом потоке производства любых видов бумаги и картона является преобразование исходных полуфабрикатов и необходимых химических реагентов в равномерную волокнистую (бумажную или картонную) массу, содержащую практически все необходимые ингредиенты для производства на БДМ и КДМ данного вида продукции. При этом волокнистые полуфабрикаты могут поступать в массоподготовительный отдел в различных видах – жидким потоком путем перекачки по трубопроводам массными насосами, частично жидким потоком, частично в виде кип сухого листового или хлопьеобразного материала через конвейер с роспуском в гидроразбивателе, в целом виде кип сухого листового или хлопьеобразного материала и, наконец, в сухом состоянии в виде кип макулатурного листового материала конвейером с последующим роспуском в гидроразбивателе.

Химические реагенты различного назначения поступают в массоподготовительный отдел в виде растворов, суспензий, эмульсий, паст, порошков и используются в соответствии с технологическими реагентами.

Волокнистые полуфабрикаты путем роспуска (если необходимо), размола, фракционирования (если необходимо), смешения с требуемыми реагентами, разбавления, сортирования различных видов, деаэрирования превращаются в равномерную вязкую структурированную волокнистую массу с концентрацией, необходимой для оптимального формирования данного вида продукции.

Химические вспомогательные вещества, добавляемые различными способами в волокнистую массу на различных стадиях массоподготовки, определяются технологией изготовления на БДМ и КДМ и конечными

свойствами продукции. Используемые химические реагенты достаточно разнообразны и многочисленны, попытки их классификации, предпринимаемые неоднократно, следует признать неудачными из-за частой замены одних реагентов другими со схожими, но более эффективными свойствами, отказа от реагентов в связи со сменой технологии, низкой селективностью многих реагентов и узкой направленностью многих добавок для малотоннажного ассортимента.

В настоящее время практически общепринятым является разделение химических вспомогательных веществ на две крупные группы, а именно:

- реагенты, интенсифицирующие и регулирующие течение технологических процессов в потоках и на БДМ и КДМ, а также в ходе отделки и переработки. Это так называемые «процессные реагенты», играющие основную роль в производственном процессе;

- реагенты, влияющие и во многом определяющие конечные свойства готовой продукции, достижение которых является основной целью технологии данного вида бумаги и картона. Эти реагенты характеризуются как «химикаты свойств», поскольку их действие обеспечивает необходимый уровень требуемых показателей.

Недостатком этой, как и любой другой классификации, является отсутствие селективности. Иными словами, многие химикаты играют определенную роль как в процессах производства, так и в формировании эксплуатационных характеристик, что зачастую затрудняет их отнесение к той или иной группе.

Растительные волокна, являющееся основным компонентом бумаги и картона, обладают высокой впитывающей способностью по отношению к более водным растворам, что обусловлено их гидрофильной природой из-за наличия доступных гидроксильных групп, а также высокой пористостью этих материалов. В то же время большая часть бумаги и картона, а также продукции на их основе в процессе эксплуатации контактирует с водой в том или ином виде, иногда напрямую, чаще с водяными парами, всегда присутствующими в окружающей среде. В результате подобных контактов вода в той или иной степени проникает в структуру бумаги и картона, вступая во взаимодействие с гидроксильными группами, ослабляя и частично разрушая сформировавшиеся водородные связи. При этом происходит падение показателей прочности материалов вплоть до потери эксплуатационных характеристик бумаги и картона.

Таким образом, для исключения подобных явлений необходим специальный процесс, регулирующий водопоглощение бумаги и картона путем придания определенной степени гидрофобности. Этот процесс традиционно называется «проклейкой», хотя даже термин не соответствует механизму придания гидрофобности.

Необходимость защиты бумаги от влаги сопровождает всю историю бумажного производства – от ручного отлива до современных технологических потоков, поскольку как в случае использования бумаги для письма и печати, так и для упаковочных целей контакты с водой и влажной окружающей средой

неизбежны. До эры машинного производства бумаги (с начала XIX в.) необходимая степень гидрофобизации бумаги достигалась поверхностными обработками бумажных листов чаще всего белковыми соединениями (животный клей), позднее углеводными, в основном крахмальными соединениями.

Поверхностная обработка бумаги ручного отлива с целью придания определенного уровня влагостойкости обеспечивала высокое качество бумаги для печати, что доказывают сохранившиеся образцы. Однако ручное нанесение гидрофобизирующих реагентов не может обеспечить машинное производство бумаги.

С начала XIX в. основным способом регулирования водопоглощения стала внутримассная проклейка с использованием канифольных клеев.

Процессы проклейки на основе канифоли подробно освещены в классической литературе. Современный взгляд на канифольную проклейку связан с коллоидно-химическими процессами коагуляции, гетерокоагуляции и флокуляции в присутствии соединений алюминия, которые меняют свою структуру в зависимости от pH, концентрации и температуры. При этом достаточно сложно изменяются потенциалы взаимодействующих частиц-волокон и клеевых структур, что затрудняет точное регулирование процесса проклейки. Тем не менее многочисленные исследования, значительные объемы практических результатов позволили успешно применить канифольную проклейку в течение многих лет и по настоящее время. Сегодня канифольная проклейка сохранилась на предприятиях, производящих сульфатную целлюлозу, т. к. одним из продуктов варки является талловая канифоль, на основе которой осуществляется процесс проклейки.

Основной недостаток канифольной проклейки – необходимость кислой среды для осаждения клеевых частиц, для чего и необходимы соединения алюминия. В кислой среде частично блокируются гидроксильные группы, что приводит к снижению межволоконного взаимодействия и падению прочности на 10–12 %. Это весьма чувствительно, особенно для вторичных волокон. Кроме того, как будет указано далее, кислая среда несовместима с процессом наполнения при использовании карбоната кальция, мела, что сегодня является обязательным в производстве печатных видов бумаги.

Преимущественно по этим причинам, начиная с конца 80-х годов XX века прослеживается переход на производство бумаги и картона в нейтральной либо слабощелочной средах с использованием синтетических проклеивающих реагентов.

Стоит отметить, что термин «проклейка», сохранившийся в историческом смысле, технологически является некорректным, т. к. не отвечает сути происходящих механизмов.

Действительно, никакого склеивания волокон между собой не происходит, при действии гидрофобизирующих реагентов создается менее водопроницаемая и водопоглощающая структура материала благодаря равномерному мелкомасштабному распределению гидрофобных частиц реагентов по поверхности волокон и фибрилл, что создает определенные препятствия активному проникновению воды глубоко внутрь структуры материала и

формирует определенную степень водонепроницаемости, сохраняя при этом необходимую степень гидрофильности бумаги и картона.

Этому механизму в наибольшей степени соответствует общепринятый в настоящее время метод оценки водопроницаемости – метод Кобба, прямо оценивающий количество поглощаемой влаги за определенный промежуток времени.

Для придания гидрофобности бумаге необходимо включить в технологический цикл производства процесс внутримассной проклейки. В основу проклейки входит введение в массу химических веществ, способных при обезвоживании под действием высоких температур приобретать гидрофобные свойства.

Механизм проклейки достаточно сложен и находится в постоянном развитии, его суть заключается в осаждении частиц клея на волокне. Синтетические проклеивающие материалы, которые реагируют с -ОН группами целлюлозы, это уход от традиционных способов проклейки. Синтетические реагенты значительно дороже, чем канифоль и действуют в нейтральной и щелочных средах. Как правило, данные химикаты не готовятся на производстве, а привозятся в готовом виде.

Главным преимуществом проклейки в нейтральной среде перед проклейкой в кислой среде является:

- возможность замены части волокна на более дешевые наполнители. Например, мел в кислой среде нельзя использовать, так как начинается процесс выделения CO_2 ;

- улучшаются печатные свойства;
- снижаются энергозатраты на размол;
- улучшается процесс формования (уменьшение пенообразования).

Из целлюлозно-реактивных клеев широко используется АКД.

Химический состав и структура димеров алкилкетена выражаются формулой, представленной на рис. 2.34.

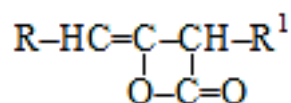


Рис. 2.34. Димер алкилкетена

Четырехчленное лактоновое кольцо обеспечивает клей АКД функциональными группами, которые реагируют с ОН-группами целлюлозы с образованием сложной эфирной связи (рис. 2.35). Точка плавления клея АКД 50–60 °С и получают его из смеси пальмитиновой ($\text{R}=\text{C}_{16}$ - 60–40 %) и стеариновой ($\text{R}^1 = \text{C}_{18}$ – 40–80 %) кислот, для стабилизации частиц клея используют защитный коллоид на основе крахмала, который придает АКД нужный заряд и стабилизирует клеевую эмульсию (рис. 2.36).

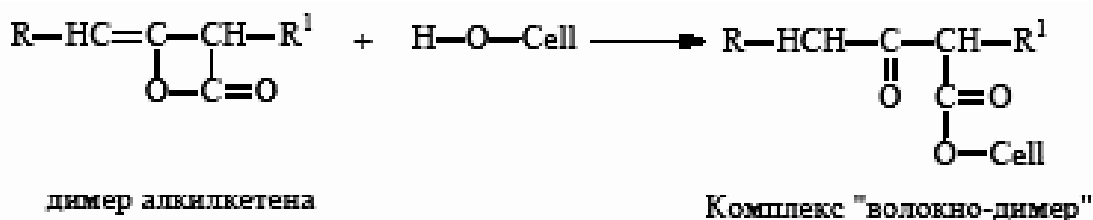


Рис. 2.35. Реакция между АКД и гидроксилами целлюлозы

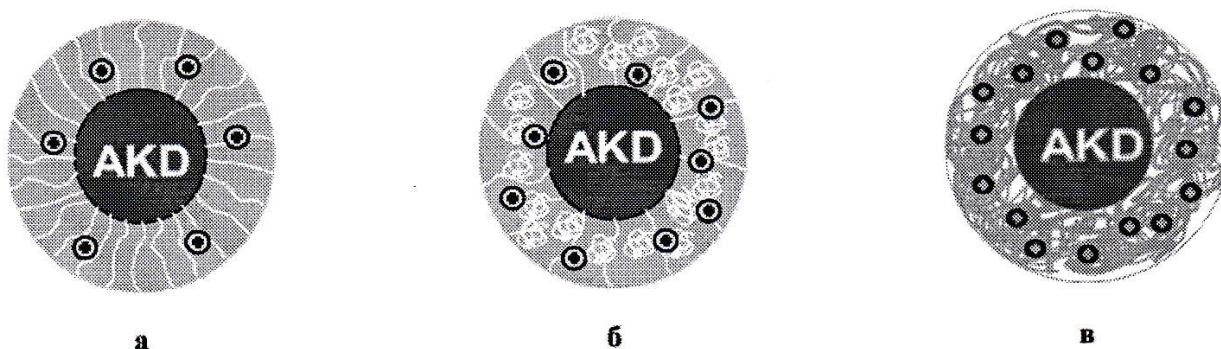


Рис. 2.36. Виды клея на основе АКД: *а* – защитный коллоид-крахмал, заряд 1+; *б* – защитный коллоид-крахмал и синтетический полимер, заряд 2+; *в* – защитный коллоид синтетический полимер, заряд 3+

Принципиальная схема проклейки бумажно-картонных материалов клеями на основе АКД представлена на рис. 2.37. Конечно, схема не отражает всего многообразия возможных процессов сложного многостадийного механизма проклейки. Его можно представить несколькими основными стадиями:

- введение клея в бумажную массу;
- распределение частиц в водноволокнистой суспензии;
- удержание частиц в волокнистой массе при отливе и обезвоживании листа;
- закрепление (фиксирование) АКД частиц клея на поверхности волокна;
- дестабилизация частиц клея с разрушением коллоидных мицелл;
- стереоориентация реакционноактивных групп димеров у свободных гидроксильных групп поверхности волокна;
- химическая реакция димера с гидроксилами волокна с образованием β-кетозфира волокна (созревание проклейки);
- химическая реакция димера с водой (гидролиз димера);
- химическая реакция кетозфира с водой (гидролиз β-кетозфира – реверсия проклейки).

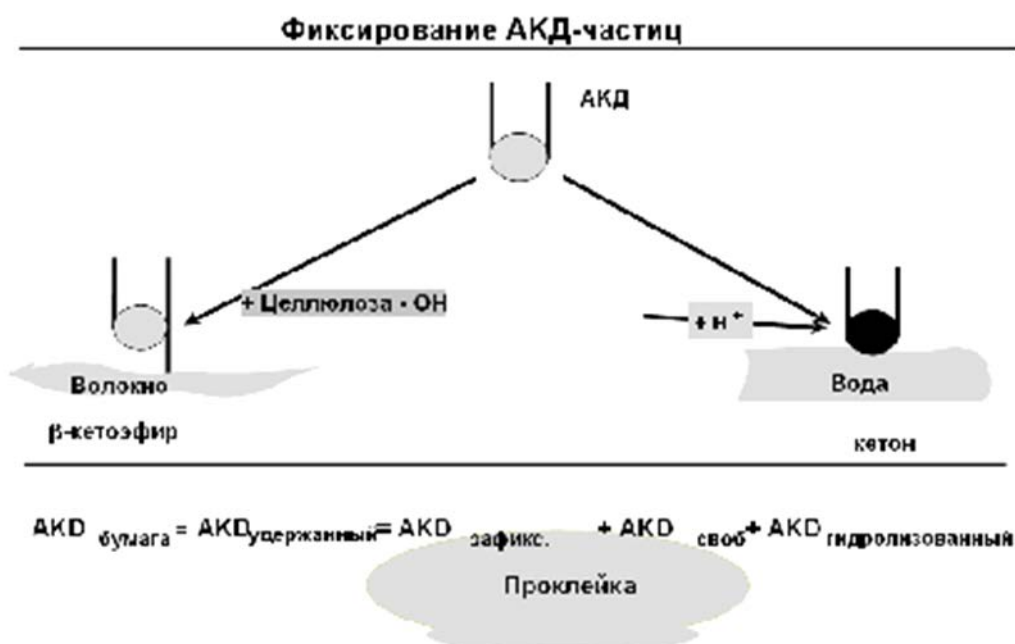


Рис. 2.37. Схема процесса проклейки бумаги и картона клеями на основе АКД

Все стадии имеют многофакторную зависимость от условий их осуществления, и только сочетание максимально положительного влияния факторов на всех стадиях общего процесса может гарантировать требуемый эффект проклейки.

После введения клея в водно-волоконистую суспензию частицы клея осаждаются и фиксируются на поверхности волокон. Клей распределяется по полотну, первоначально клей фиксируется на волокне за счет электростатических и водородных связей с гидроксильными группами целлюлозы. Это происходит в мокрой части БДМ при отливе и обезвоживании.

Дальнейшее удержание частиц клея на волокне происходит под влиянием физико-химических процессов адсорбции и электростатического взаимодействия. Реализация проклейки осуществляется в сушильной части машины (созревание готовой) бумаги, то есть клей непосредственно соединяется с волокном.

Основой процесса проклейки являются поверхностные явления. Суспензия бумажной массы относится к коллоидно-химическим системам с отрицательным зарядом поверхности, обусловленным образованием двойного электрического слоя. Величина заряда поверхности волокна определяется преимущественно видом волокнистых полуфабрикатов, композиции массы, а управление величиной заряда возможно только в технологическом потоке, уровнем активной кислотности (рН) и добавлением химических веществ.

В плане рассмотрения процесса проклейки адсорбционная поверхность волокна очень важный фактор. Положительное значение имеет адсорбция катионактивных полимерных функциональных химикатов – крахмала,

полиакриламида и др. Эти продукты в воде проявляют свойства коллоидных систем. Их частицы несут положительный заряд и активно адсорбируются поверхностью волокна, тем самым снижая удельную поверхность волокнистой массы и ее способность адсорбировать частицы клея.

Также важным аспектом этой адсорбции является снижение адсорбции поверхностью волокна (вытеснение) диполей воды.

Очевидно, что перераспределение общей поверхности волокна в сторону уменьшения гидрофобных участков и повышения гидрофильности волокна должно определенным образом влиять на механизм его проклейки димерами алкилкетена. Одним из вероятных направлений механизма проклейки можно считать повышение доли клея, участвующего в реакции образования β -кетозэфира, за счет увеличения гидрофильности (приращения гидроксильных групп).

Второе направление механизма связано с преобладающей миграцией расплавленного клея в места межволоконных гидрофобных контактов. Сродство гидрофобных контактов и гидрофобных радикалов димеров алкилкетена (когезия) образует прочно связанную систему «волокно–димер» и в сочетании с системой «волокно–димер», созданной по реакции β -кетозэфира, обеспечивают придание гидрофобных свойств бумаге.

Несколько иным направлением развития проклейки синтетическими нейтральными реагентами является использование алкилэтантарного ангидрида (ASA). Основное отличие от АКД – ASA готовится из эмульсированных частиц ангидрида путем их смешения с катионным крахмалом за 15–20 мин. до введения в бумажную массу. Далее процесс идет по схеме АКД. Положительным моментом при использовании ASA является, как правило, реализация эффекта гидрофобизации сразу в процессе сушки, тогда не тратится время на созревание. Несомненно, это связано с видом реагента ASA как эмульсии, в то время как АКД – суспензия. В реальных условиях успешно работают оба метода гидрофобизации.

Следует отметить, что, как будет указано далее, в производстве материалов для гофрокартона – лайнера и флутинга все чаще наблюдается отказ от внутримассной проклейки в пользу поверхностной обработки системами на основе крахмала с использованием пленочных клеильных прессов.

Одним из важнейших в производстве бумаги для печати является процесс наполнения. Наполнение предусматривает введение в композицию бумаги для печати достаточных количеств минеральных пигментов с целью улучшения печатных свойств и экономии бленового целлюлозного волокна.

В качестве минеральных пигментов в настоящее время используется в основном карбонат кальция (CaCO_3) в различных видах, каолин – амоносиликат кальция, диоксид титана (TiO_2), тальк. Многие другие белые пигменты – соединения цинка, бария практически исчезли из широкого употребления. Каждый из широко используемых наполнителей имеет свою специфику характеристик, которую необходимо учитывать при их применении. В то же время к наполнителям существует определенный перечень общих требований,

без выполнения которых процесс наполнения практически невозможен. К ним относятся:

- белизна пигмента;
- степень дисперсности (размеры частиц);
- химическая инертность;
- сравнительно низкая стоимость;
- регулируемая абразивность.

В ряде случаев важное значение приобретает равномерность дисперсного состава (отклонение от моодисперсности), удельная масса пигмента, коэффициент преломления, оптическая стабильность (неизменность цвета со временем).

В полной мере этим требованиям не отвечает ни один пигмент, поэтому для конкретной технологии выбирается наиболее приемлемый вариант.

В настоящее время основным пигментом для технологии бумаги для печати является карбонат кальция. Он соответствует большинству сформулированных требований, за исключением химической инертности и величин коэффициента преломления.

Проблема химической инертности CaCO_3 привела в конце 80-х начале 90-х годов XX в. к кардинальному изменению технологии производства бумаги и картона – переходу к нейтральному и слабощелочному производству. В кислой среде, связанной с использованием солей алюминия в процессе канифольной проклейки (рН 4,5–5,5), карбонат кальция растворялся с образованием углекислого газа, что приводило к значительному пенообразованию и невозможности работы.

В кислой среде в качестве наполнителя широко использовался каолин. Однако карбонат кальция оказался дешевле, выше по белизне и лучше по дисперсности. Поэтому благодаря также новым источникам получения карбоната кальция этот наполнитель в настоящее время наиболее востребован. Карбонат кальция в природе встречается в виде меловых образований органического происхождения (заизвестковавшиеся остатки мелких пресмыкающихся и насекомых), в виде подземных меловых залежей и в виде мрамора. На производство карбонат кальция поставляется в виде белого порошка, либо чаще в виде пасты с концентрацией 70 %. Далее наполнитель смешивается с водой и направляется в бумажную массу.

Карбонат кальция производится также путем переосаждения. Для этой цели обычный известняк CaCO_3 прокаливают до CaO , затем гасят в воде до Ca(OH)_2 , фильтруют и через фильтрат пропускают CO_2 с получением чистого CaCO_3 с регулируемой дисперсностью.

Лучшие сорта CaCO_3 имеют белизну до 95 %, высокую степень дисперсности – свыше 90 % частиц менее 1 мкм.

Степень дисперсности имеет особое значение, как уже было отмечено, добавка наполнителя в значительной степени улучшает печатные свойства бумаги, главным образом гладкость. Наличие наполнителя позволяет получить высокую гладкость в системах отделки на бумагоделательной машине – при

лощении, каландрировании. При этом чем больше наполнителя, тем выше эффект. Но при увеличении содержания наполнителя снижается прочность бумаги. Величина потери прочности зависит от степени дисперсности наполнителя. Если частицы достаточно мелкие (порядка 1 мкм), то прочность теряется из-за блокирования части гидроксильных групп на волокне, которые не смогут образовать межволоконные связи. Если частицы крупные (более 3 мкм), то они, находясь между волокнами, создают расклинивающий эффект, что значительно снижает эффективность связеобразования. Поэтому чем выше дисперсность, тем больше наполнителя можно ввести. Современные виды бумаги для печати содержат до 25–30 % наполнителя, введенного в массу.

Каолин как наполнитель был основным пигментом на протяжении XX в., прекрасно сочетаясь с канифольной проклейкой. Вводился в бумажную массу в виде водной суспензии с концентрацией 150 – 200 г/л. Степень дисперсности природных сортов каолина – 3–4, до 5–8 мкм, белизна – до 85 %. В настоящее время каолин используется чаще как пигмент для мелования, поскольку обладает свойствами давать равномерные гидропластичные суспензии. Каолиновые пигменты для мелования имеют высокую степень дисперсности и белизну, для чего предварительно подвергаются размолу и отбелке.

Диоксид титана (TiO_2) – пигмент, получаемый из ильменитовой руды либо специальным синтезом. Это дорогой пигмент, значительно дороже беленого целлюлозного волокна. Его используют для достижения высокой укрывистости и непрозрачности в производстве бумаги для облицовки мебели с целью имитации ценных пород древесины, а также для некоторых специальных видов бумаги. Основные свойства TiO_2 связаны с его высоким коэффициентом преломления – 2,55–2,70, что и обеспечивает требуемую укрывистость, непрозрачность. В изготовлении бумаги используют две кристаллические формы диоксида титана – анатаз и рутил. Чаще применяется рутил из-за более высокой светостойкости.

Тальк как наполнитель используется довольно редко и скорее не для улучшения печатных свойств бумаги, а для снижения смоляных затруднений. Тальк обладает высокими лиофильными характеристиками и может адсорбировать вредные смоляные частицы.

При введении высокодисперсных частиц наполнителя в бумажную массу и последующем формовании листа на сетке бумагоделательной машины всегда возникает проблема фиксации частиц на волокне и их удерживаемости в процессе отлива.

Сложность регулирования удерживаемости на сетке связана со следующими факторами:

- волокна и частицы наполнителя заряжены отрицательно;
- высокая степень дисперсности, высокая удельная масса частиц наполнителя;
- различный уровень взаимодействия с водой волокон и частиц наполнителя;

– необходимость достаточно быстрого обезвоживания в сеточной части БДМ.

В соответствии с приведенными факторами вероятность высокого провала наполнителя под сетку весьма велика. В то же время реальные результаты оценки удерживаемости компонентов бумажной массы, в том числе наполнителей, на современных технологических линиях достаточно высоки и достигают 85–90 %. Более высокие значения при использовании современных химических реагентов тоже возможны, но часто сопряжены с нарушением равномерности макроструктуры бумажного листа, поскольку связаны с процессом флокуляции.

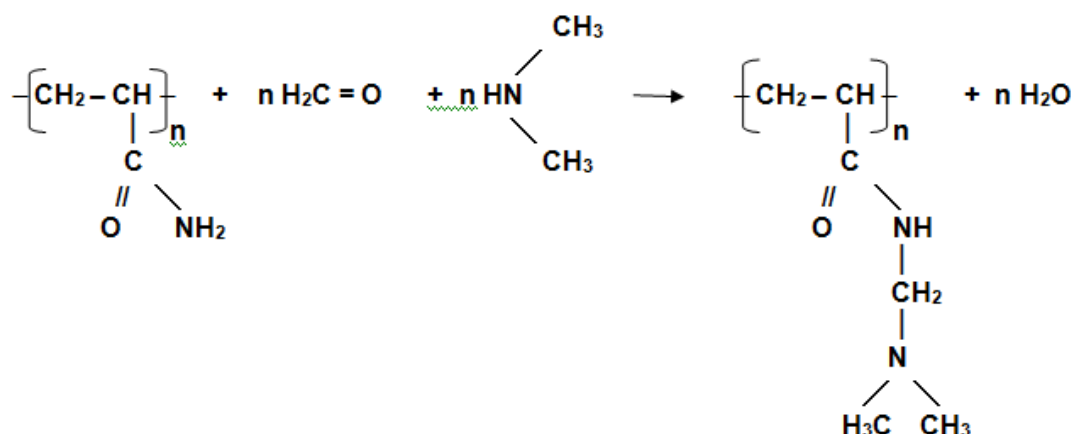


Рис. 2.38. Синтез катионного полиакриламида

Основным и наиболее эффективным путем регулирования удерживаемости является широкое и методически правильное использование современных флокулирующих катионных реагентов, в частности, катионного полиакриламида (ПАА).

Катионный ПАА – высокомолекулярное синтетическое соединение с молекулярной массой 3–4 миллиона (рис. 2.38). Подается в бумажную массу перед отливом в количестве 150–250 г/т, в настоящее время часто в сочетании с системой микрочастиц (бентонит, полифлекс). Катионный ПАА образует достаточно устойчивые микрофлокулы, остающиеся на сетке в системе бумажного полотна, что и приводит к высоким показателям удерживаемости.

Частицы наполнителя и другие компоненты бумажной массы, ушедшие под сетку, в основном возвращаются в процессе формования через смесительный насос. Безвозвратные потери в современных технологических потоках составляют не более 1,0–1,5 %.

Одним из процессов, характерным для массоподготовительных отделов, является крашение бумажной массы с целью получения окрашенных видов бумаги и картона.

Окрашенные виды бумаги и картона можно получить путем поверхностной обработки на встроенных клеильных прессах или специальных красконаносящих машинах. Такая окраска экономична по технологии и не дает большого количества окрашенных сточных вод, но требует специального дорогостоящего оборудования. В настоящее время чаще всего используется крашение бумажной массы. Для этой цели могут использоваться растворимые и нерастворимые красители. Растворимые красители производятся как кислотные, основные и прямые. Кислотные красители представляют собой натриевые соли органических сульфокислот. Они плохо фиксируются на волокне и осаждаются в кислой среде при использовании солей алюминия. Основные красители являются солями органического основания и минеральных кислот. Они успешно взаимодействуют с лигнином и их зачастую используют для придания коричневого цвета макулатурным видам картона. К их недостаткам следует отнести низкую светостойкость и чувствительность к изменению pH и жесткости воды. Прямые красители хорошо окрашивают целлюлозные волокна и не требуют осаждения солями алюминия. Эти красители достаточно дешевы и имеют высокую светостойкость.

По своим цветовым и светостойким характеристикам любые растворимые красители значительно уступают нерастворимым пигментам либо кубовым красителям. Пигментные либо кубовые красители представляют собой нерастворимые в воде органические или неорганические пигменты, дающие достаточно устойчивые ярко окрашенные суспензии. При смешении таких суспензий с бумажной массой окрашенные частицы пигментов фиксируются на волокнах, чаще всего с использованием синтетических катионных флокулянтов. Эти красители весьма дороги, но их использование настолько эффективно, что в настоящее время для производства специальных видов бумаги, в частности, декоративных, документных, банкотных применяются исключительно пигментные красители.

Отдельный технический прием в технологии бумаги для печати – подцветка и оптическое отбеливание. Практически это добавки для усиления белого цвета. Подцвечивание бумажной массы синими или фиолетовыми красителями известно еще с XIX в. Эти добавки компенсировали желтые оттенки целлюлозы и каолина, переводя их в синюю область, что давало более высокую белизну. Оптическое отбеливание значительно более эффективно. Для него используются сложные системы окрашивающих частиц и специальных оптических отбеливателей сложного состава, которые переводят спектр отраженного от готовой бумаги света в синюю и фиолетовую области, что позволяет получить бумагу с белизной свыше 100 % по сравнению с MgO. Современные виды бумаги для печати всегда содержат оптические отбеливатели для удовлетворения требований полиграфистов к белизне бумаги для печати.

Также в основном по требованиям полиграфического производства в настоящее время производится значительное количество мелованных видов продукции. Процесс мелования предусматривает нанесение на поверхность бумаги или картона с одной либо с двух сторон меловальной пасты сложного

многокомпонентного состава, содержащего белый минеральный высокодисперсный пигмент – 85 частей и связующее, чаще латекс – 15 частей.

Помимо пигмента и связующего в состав пасты в значительно меньшем количестве входят дисперганты, стабилизаторы, регуляторы вязкости и pH, смачивающие реагенты, отбеливатели, пластификаторы, антивспениватели и другие компоненты – до 17 наименований. В качестве пигментов в настоящее время чаще используется карбонат кальция, однако высокие результаты показывает специально подготовленный каолин. Также практикуется добавка к основным пигментам диоксида титана. Требования к пигментам такие же, как к лучшим сортам наполнителей, либо еще более высокие, особенно по степени дисперсности и равномерности гранулометрического состава. В качестве связующего используются бутадиен-стирольные либо акрилатные латексы, для этих целей использовался и крахмал.

В зависимости от количества наносимой меловальной пасты мелование разделяется на легкое, среднее и полное.

Легкое мелование – нанесение от 7 до 12 г/м² мелованного покрытия на каждую из сторон листа. Легко мелованная бумага – один из самых распространенных видов бумаги для печати, ее выпускают миллионы тонн. Чаще всего легкомелованную бумагу производят на встроенном в сушильную часть бумагоделательной машины специальном оборудовании – пленочном клеильном прессе. Легкое мелование осуществляют в один слой с использованием различных систем нанесения – воздушным шабером, дозирующей головкой, завесой. Нанесенный слой подсушивают горячим воздухом, инфракрасным излучением, после подсушки высушивают на сушильных цилиндрах с покрытием. Легкое мелование осуществляют при высокой производительности, на скорости до 1500 м/мин.

Среднее мелование – 15–18 г/м² и полное мелование – более 20 г/м² осуществляют в 2–3 слоя как для лучших сортов печатных видов бумаги, так и для высококачественных упаковочных вводов картона. Слои меловальной пасты могут быть различной композиции и концентрации. Среднее и полное мелование производят на отдельно стоящем оборудовании, со своим раскатом и накатом. Каждый слой после нанесения подсушивают.

Полиграфические характеристики мелованных материалов неизмеримо выше немелованной бумаги-основы. Прежде всего, это выражается в высоких значениях гладкости, т. к. мелованный слой, принимающий печать, состоит из значительно более высокодисперсных, равномерно распределенных пигментных частиц, в 1000–2000 раз более мелких, чем волокна. При высоком содержании наполнителя в бумажной массе – 25–30 % и до 30 % меловальной пасты на поверхности современная высококачественная печатная бумага представляет собой сложный минерально-волокистый материал, наиболее полно отвечающий высоким требованиям полиграфии.

Проклеивающие и наполняющие вещества – крупнотоннажные реагенты, их используемое количество в производстве бумаги и картона составляет миллионы тонн. Однако следует учитывать, что для успешного производства необходимо применять достаточно широкий ассортимент химических

вспомогательных веществ (ХВВ) с различными текущими и конечными свойствами.

В первую очередь к таким реагентам следует отнести крахмал и его производные. Крахмал по своему химическому составу идентичен целлюлозе, при этом отличается в области связи шестичленных циклов, составляющих полимер. Циклы крахмала связаны α -гликозидной связью, циклы целлюлозы β -гликозидной связью. Принципиальное отличие крахмала от целлюлозы – неволокнистая структура и возможность неограниченного набухания. Крахмал при нагревании в водной среде свыше 90°C дает вязкие полимерные растворы. Первоначально, еще в XIX в., крахмал использовался как добавка в бумажную массу лишь в качестве проклеивающего поверхностного реагента в виде вязкого полимерного раствора. Полимерные макромолекулы в растворе имеют отрицательный заряд, как и волокна. Для активизации взаимодействия раствор крахмала подавался в присутствии сульфата алюминия либо алюмокалиевых квасцов. Макромолекулы крахмала благодаря высокой подвижности образуют дополнительные водородные связи по доступным гидроксильным группам целлюлозных волокон, увеличивая прочность как волокнистой суспензии, так и бумажного полотна в целом. Более технологичным является использование катионных продуктов на основе крахмала. Катионирование крахмала, или придание макромолекулам крахмала положительного заряда, осуществляется путем модификации четвертичными солями аммония, в результате которых небольшая часть гидроксильных групп крахмала (от 10 до 70 гидроксильных групп на 1000) взаимодействует с реагентами. Чаще всего для этих целей используется 3-хлоро-2-гидроксипропилтриметиламмоний хлорид или 2,3-эпоксипропилтриметиламмоний хлорид. Макромолекулы крахмала приобретают положительный заряд и вступают во взаимодействие с волокнами целлюлозы непосредственно без участия солей аммония. Использование катионного крахмала при его добавке в массу оказалось достаточно эффективно, и в настоящее время это основной технический прием использования крахмала.

Значительные количества крахмала используются как реагент для поверхностной обработки, особенно при наличии современных пленочных клеильных прессов. В условиях поверхностной проклейки практически невозможно использовать растворы натурального крахмала из-за высокой вязкости. Для получения приемлемой вязкости требуется высокое разбавление раствора, что не дает возможности формирования пленки необходимой толщины и прочности. Поэтому для поверхностной обработки крахмальными реагентами необходима модификация крахмала с целью снижения его степени полимеризации. Эта модификация осуществляется либо методом окисления (например, гипохлоритом натрия), либо путем ферментативной обработки. Окисленный или ферментативный крахмал дают растворы значительно меньшей вязкости и могут использоваться при высокой концентрации, в современных прессах до 15 %. Получаемые пленки обладают высокой прочностью, упрочняют поверхность и в целом материал, обеспечивают требуемую гидрофобизацию. С целью усиления эффекта поверхностной обработки к крахмальным реагентам

добавляют некоторые полимерные вещества, в частности, простые или сложные эфиры целлюлозы.

Существуют иные, иногда более сложные модификации крахмала, например получение диальдегидного крахмала, широкого распространения такие виды крахмала не получили.

В качестве связующего используются производные целлюлозы, а именно эфир карбоксиметилцеллюлоза. Этот реагент используется в основном для поверхностных обработок с теми же целями, что и модифицированный крахмал.

Достаточно разнообразны реагенты для придания бумаге и картону специальных свойств. К их числу в первую очередь следует отнести влагопрочность. Влагопрочность – значительно более высокая степень гидрофобности, чем достигаемая традиционными проклеивающими реагентами – клеями на основе канифоли и AKD и ASA.

Влагопрочность – это возможность сохранения определенного уровня прочности при непосредственном контакте материала с водой и водными растворами. В отсутствие влагопрочных добавок бумага и картон при контакте с водой сохраняет не более 3–5 % от исходной прочности. В качестве влагопрочных добавок в XX в. активно использовали смолы на основе формальдегида – карбамидные и меламиновые. Эти смолы достаточно эффективны, обеспечивали влагопрочность до 40 %, но опасны для использования из-за выделения формальдегида в процессе изготовления бумаги и картона. Высокие результаты по влагопрочности (до 70 %) обеспечивает введение в необходимом количестве латекса, но это практически не совместимо с работой бумагоделательной машины, поскольку быстро выходила из строя одежда машины.

В настоящее время с целью получения влагопрочных материалов используются сложные полимерные комбинированные катионные макромолекулы – полиамид – полииминные смолы, модифицированные эпихлоргидрином, которые выпускаются рядом химических фирм под своими названиями (Кюмене, ультрафикс, катиофаст и т. д.). В зависимости от вида добавки и его количества можно получить различный уровень влагопрочности – от минимальной на несколько секунд до высокой при намокании в течение двух часов.

Существуют специальные добавки, обеспечивающие развитие других барьерных характеристик, например кислото- и щелочестойкость, жиростойкость, ароматонепроницаемость, биостойкость, термо- и огнестойкость, светостойкость и т. д.

В настоящее время появились многофункциональные добавки, обеспечивающие комплексный эффект, включающий упрочнение, флокулирующую способность, регулирование обезвоживания, степень проклейки. Это, как правило, дорогостоящие добавки катионного полимерного характера, в частности – поливиниламины Sxelorex различных модификаций. Опытно-промышленные испытания этих реагентов показали их высокую эффективность.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ММ – макулатурная масса.

УРЭ – удельный расход энергии.

БДМ – бумагоделательная машина.

КДМ – картоноделательная машина.

ВУС – водоудерживающая способность, %.

Р – разрушающее усилие, Н.

L – разрывная длина, м.

ε – деформация, %.

ТЕА – энергия поглощения при растяжении образца до разрушения, Дж/м².

П – сопротивление продавливанию, кПа.

R – сопротивление раздиранию, мН.

N – число двойных перегибов, ч.д.п.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьякова, Е. В., Дулькин, Д. А., Комаров, В. И. Переработка макулатуры [Текст]: учеб. пособие / Е. В. Дьякова, Д. А. Дулькин, В. И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 172 с.
2. Евстигнеев, Э. И. Химические превращения компонентов древесины в технологических процессах [Текст]: учеб. пособие. / Э. И. Евстигнеев. – СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2021. – 84 с.
3. Пузырев, С. С., Виролайнен, Э. В. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Сырье и производство полуфабрикатов [Текст]. В 3 т. Ч. 3. Производство полуфабрикатов / С. С. Пузырев, Э. В. Виролайнен и др. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.
4. Комаров, В. И., Галкина, Л. А., Лаптев, Л. Н. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства [Текст]. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона / В. И. Комаров, Л. А. Галкина, Л. Н. Лаптев и др. – СПб.: Политехника, 2012. – 420 с.
5. Пузырев, С. С., Тюрин, Е. Т. и др. Переработка вторичного волокнистого сырья [Текст] / С. С. Пузырев, Е. Т. Тюрин и др. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 467 с.
6. Яблочкин, Н. И., Комаров, В. И., Ковернинский, И. Н. Макулатура в технологии картона [Текст] / Н. И. Яблочкин, В. И. Комаров, И. Н. Ковернинский. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.
7. Ванчаков, М. В., Дубовый, В. К. и др. Технология и оборудование переработки макулатуры [Текст]: учеб. пособие / М. В. Ванчаков, В. К. Дубовый и др. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 322 с.
8. Смирнова, Е. Г., Лоцманова, Е. М., Журавлева, Н. М. и др. Материалы из нетрадиционных видов волокон: технологии получения, свойства,

- перспективы применения [Текст]: монография / Е. Г. Смирнова, Е. М. Лоцманова, Н. М. Журавлева и др. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 252 с.
9. Комаров, В. И., Гурьев, А. В., Елькин, В. П. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов [Текст]: учеб. пособие / В. И. Комаров, А. В. Гурьев, В. П. Елькин. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 171 с.
10. Миловидова, Л. А., Севастьянова, Ю. В., Комарова, Г. В. Сортирование и очистка целлюлозы [Текст] / Л. А. Миловидова, Ю. В. Севастьянова, Г. В. Комарова. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 76 с.
11. Дулькин, Д. А., Спиридонов, В. А. и др. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги [Текст] / Д. А. Дулькин, В. А. Спиридонов и др. – Архангельск: САФУ, 2011. – 176 с.
12. Дубовый, В. К., Гурьев, А. В. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона [Текст]: учеб. пособие / В. К. Дубовый, А. В. Гурьев, и др.; под ред. проф. В. И. Комарова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 230 с.
13. Свиридов, Е. Б., Дубовый, В. К. Книга о полимерах [Текст] / Е. Б. Свиридов, В. К. Дубовый. – Архангельск: САФУ, 2016. – 392 с.
14. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины [Текст]: учеб. пособие / под ред. В. С. Курова, Н. Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 588 с.
15. Фляте, Д. М. Свойства бумаги [Текст] / Д. М. Фляте. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999. – 384 с.
16. Иванов, С. Н. Технология бумаги [Текст] / С. Н. Иванов. – 3-е изд. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
17. Хованский, В. В., Дубовый, В. К., Кейзер, П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона [Текст]: учеб. пособие / В. В. Хованский, В. К. Дубовый, П. М. Кейзер; СПбГТУРП. – СПб., 2013. – 154 с.
18. Дулькин, Д. А., Спиридонов, В. А. и др. Использование природной воды в производстве тарного картона из макулатуры [Текст] / Д. А. Дулькин, В. А. Спиридонов и др. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 242 с.
19. Южанинова, Л. А., Дулькин, Д. А. и др. Особенности технологии бумаги основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам [Текст] / Л. А. Южанинова, Д. А. Дулькин и др. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 102 с.
20. Гаузе, А. А., Гончаров, В. Н., Кугушев, И. Д. Оборудование для подготовки бумажной массы [Текст]: учебник для вузов / А. А. Гаузе, В. Н. Гончаров, И. Д. Кугушев. – М.: Экология, 1992. – 352 с.
21. Технология целлюлозно-бумажного производства [Текст]. В 3 т. Т. 1, ч. 2. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.
22. Смолин, А. С., Дубовый, В. К. и др. Технология гофрокартона [Текст]: учеб. пособие / А. С. Смолин, В. К. Дубовый и др. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. – 412 с.
23. Сэнсом, Иэн. Бумага: о самом хрупком и вечном материале [Текст] / Иэн Сэнсом; [пер. с англ. Д. Карельского]. – Москва: АСТ: CORPUS, 2011. – 320 с.

Учебное издание

**Дубовый Владимир Климентьевич
Смолин Александр Семенович
Смирнова Екатерина Григорьевна
Кейзер Павел Матвеевич**

Технологические процессы и оборудование ЦБП

Часть 1

Учебное пособие

Редактор и корректор А. А. Чернышева
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2021 г., поз. 10

Подписано к печати 05.09.2022.	Формат 60х84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 5,8.	Уч.-изд. л. 5,8.
Тираж 50 экз. Изд. № 10	Цена «С».	Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.