

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра целлюлозно-бумажного производства,  
лесохимии и промышленной экологии

Н. Ф. Пестова

## **ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ**

Учебное пособие

*Утверждено учебно-методическим советом Сыктывкарского лесного института в качестве учебного пособия для студентов направления бакалавриата 240100 «Химическая технология» и специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» всех форм обучения*

*Самостоятельное учебное электронное издание*

СЫКТЫВКАР  
СЛИ  
2013

УДК 674.8  
ББК 37.13  
П28

Утверждено к изданию редакционно-издательским советом  
Сыктывкарского лесного института

**Ответственный редактор:**  
**В. А. Дёмин**, доктор химических наук, профессор

**Пестова, Н. Ф.**  
П28 ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ [Электронный ресурс] : учебное пособие : самост. учеб. электрон. изд. / Н. Ф. Пестова ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В учебном издании изложена технология производства механической древесной массы. Рассмотрены современные тенденции в развитии производства древесных масс. Представлена характеристика и область применения получаемых механических древесных масс. Рассмотрены вопросы по очистке, отбелке, переработке отходов сортирования.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению бакалавриата 240100 «Химическая технология» и специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» всех форм обучения.

УДК 674.8  
ББК 37.13

Темплан 2013 г. Изд. № 186.

---

*Самостоятельное учебное электронное издание*

**Пестова** Наталья Феликсовна, ст. преподаватель

### **ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ**

Электронный формат – pdf. Объем 4,8 уч.-изд. л.

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),  
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, [institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)

Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 373

© СЛИ, 2013  
© Пестова Н. Ф., 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Классификация древесной механической массы.....	5
2. Древесное сырье для производства ДДМ и РДМ.....	9
2.1 Требования, предъявляемые к качеству древесного сырья.....	13
2.2 Свойства древесной массы.....	23
3. Производство дефибрерной древесной массы.....	27
4. Типы дефибреров их характеристика.....	31
4.1 Дефибрирование под давлением (ДМД).....	39
4.2 Дефибрерный камень.....	43
4.3 Обработка поверхности камня.....	48
4.4 Транспортировка, хранение и ввод в эксплуатацию дефиб- рерных камней.....	50
4.5 Факторы, влияющие на процесс дефибрирования.....	52
5. Развитие технологии производства древесной массы из щепы.....	58
6. Технология химико-механической массы.....	62
6.1 Факторы размола.....	70
6.2 Технологическая схема производства термомеханической массы для производства газетной бумаги .....	72
7. Рекуперация тепла.....	76
8. Отбелка древесной массы.....	79
8.1 Схемы отбелки древесной массы .....	85
9. Сортирование древесной массы.....	90
10. Очистка древесной массы.....	99
Библиографический список.....	101

## Введение

Механическая древесная масса (МДМ) – волокнистый полуфабрикат высокого выхода, получаемый путем механической переработки древесного сырья: истиранием балансовой древесины на дефибрерных камнях или разволокнением щепы, размолем и рафинированием древесных волокон в дисковых мельницах (рафинерах) с последующим сортированием, очисткой, переработкой отходов и отбелкой.

Древесная масса является одним из самых экономичных полуфабрикатов, так как при ее изготовлении достигается 98%-й выход волокна из древесины.

В технологии ее производства отсутствуют процессы варки, приготовления и регенерации полуфабрикатов, что значительно снижает загрязнение окружающей среды. Древесная масса входит в композицию подавляющего большинства видов бумажно-картонной продукции.

Недостатком является низкая по сравнению с целлюлозным прочностью бумажного листа.

Метод производства древесной массы из щепы размолем ее в дисковых мельницах получил широкое распространение. Предпочтение, отдаваемое этому методу производства древесной массы, обусловлено возможностью более полного использования сырья всех древесных пород с вовлечением в производство низкокачественной древесины, дров, отходов лесопиления, лесозаготовок и т.п., т.е. сырья, которое не может быть переработано классическим дефибрерным методом.

## 1. Классификация древесной механической массы

Древесной массой называются волокнистые полуфабрикаты, вырабатываемые путем механического разделения древесины на волокна.

В зависимости от конструктивного оформления этого процесса все виды древесной массы делят на две большие группы: дефибрерные и рафинерные. В первом методе древесная масса производится истиранием балансов абразивной поверхностью камня в дефибрерах; она получила название дефибрерная древесная масса (ДДМ). Во втором методе древесная масса вырабатывается из щепы размолотом ее в дисковых мельницах и называется рафинерной древесной массой (РДМ).

Поиски альтернативных вариантов производства древесных масс привели к изобретению способов размолот щепы в дисковых мельницах – рафинерная древесная масса. Измельченная древесины в виде щепы, в отличие от балансов, может быть легко подвергнута тепловой или химической обработке перед размолотом, а дисковые мельницы имеют более простую конструкцию и высокую производительность по сравнению с дефибрерами.

Совершенствование технологий рафинерной древесной массы позволило расширить ассортимент выпускаемых древесных масс.

В зависимости от способа получения и применяемых технологических режимов древесную массу разделяют на два вида – чисто механическая древесная масса и химико-механическая масса.

К первому виду относится чисто механическая масса, получаемая без использования химических реагентов и имеющая выход 93–98 %:

- ДДМ — традиционная дефибрерная древесная масса с выходом 93–98%, получаемая истиранием древесины на дефибрерных;
- ДМД или ДМД/Д – дефибрерная масса давления;
- РММ или РДМ – рафинерная механическая или рафинерная древесная масса;
- ТММ – термомеханическая масса;

Ко второму виду механической массы относятся различные виды химико-механической массы, т. е. механической массы, получаемой с применением химических реагентов.

Химико-механическая масса, в свою очередь, подразделяется на четыре вида.

1. Масса, низкой степени сульфирования обработки щепы химическими реагентами (до 10 % к массе а. с. древесины):

- ХТММ – химико-термомеханическая масса.

2. Химически модифицированная масса, к которой относятся полуфабрикаты или их отдельные фракции, подвергнутые обработке химическими реагентами:

- ТМХМ — термомеханохимическая масса;
- ХММо – химико-механическая масса из отходов сортирования или длиноволокнистой фракции всех видов механической массы.

3. Химико-механическая масса высокой степени сульфирования (ХММ), получаемая, получают путем интенсивной обработки щепы химическими реагентами (при расходе 10–15 % и выше).

- СХММ – сульфированная химико-механическая масса;
- БПОВВ – бисульфитный полуфабрикат очень высокого выхода;
- БХММ – бисульфитная химико-механическая масса;
- СВВ – сульфитная масса высокого выхода;
- ССВВ – сульфитная масса сверхвысокого выхода;
- ОВВСМ – сульфитная масса очень высокого выхода.

4. Бессернистая химико-механическая масса, получаемая бессернистым способом:

- ЩПММ – щелочная пероксидная механическая масса
- М-процесс отбели щепы;
- БХММ – беленая ХММ
- ХЩ – холодно-щелочной полуфабрикат.

В таблице 1 представлена классификация древесных масс с указанием основных этапов производства.

Таблица 1 Виды древесных масс и метод производства

Вид массы	Аббревиатура	Метод производства (основные стадии)
1	2	3
Чисто механическая масса		
Дефибрерная древесная масса	ДДМ	Дефибрирование при атмосферном давлении
Дефибрерная масса давления	ДМД	Дефибрирование при температуре выше 100 °С
Термодефибрерная механическая масса	ТДМ	Получена в режиме термодефибрирования, при котором наивысшая температура достигается в конце зоны дефибрирования

Рафинерная механическая масса	РММ или РДМ	Размол увлажненной щепы при атмосферном давлении без предварительной обработки
Термоафинерная механическая масса	ТРММ	Пропаривание щепы при температуре выше 100 °С, размол при атмосферном давлении в две ступени
Рафинерная масса давления (прессовая рафинерная масса)	РМД (ПРММ)	Щепа не пропаривается, I и II ступени размола при температуре выше 100 °С
Термомеханическая масса	ТММ	Пропаривание щепы при температуре выше 100°С, первая ступень размола при температуре выше 100 °С, вторая – при атмосферном давлении
Рафинерная термомеханическая масса (термомеханическая масса по способу «Тандем»)	РТММ, ТММ- Тандем	Пропаривание щепы при температуре выше 100°С, первая и вторая ступени размола при температуре выше 100 °С
Полуфабрикаты, получаемые с «легкой» химической обработкой (расход реагентов до 10 % от массы а.с. древесины)		
Химико-рафинерная механическая масса	ХРММ	Химическая обработка щепы при атмосферном давлении (низкая температура). Размол при атмосферном давлении.
Химико-термомеханическая масса	ХТММ	Пропаривание щепы с химической обработкой при температуре выше 100 °С, первая ступень размола при температуре выше 100 °С, вторая – при атмосферном давлении
Термохимико-механическая масса	ТХММ	Пропаривание щепы с химической обработкой при 100 °С, размол при атмосферном давлении в две ступени
Химически модифицированные полуфабрикаты		
Термомеханохимическая масса (способ ОПКО)	ТМХМ	Первая ступень размола при температуре выше 100 °С, вторая – при атмосферном давлении, химическая обработка под давлением между ступенями размола или после двух ступеней размола
Химико-механическая масса из отходов сортирования или длинноволокнистой фракции всех видов массы	ДХММ, ХДВ, ХММ <sub>0</sub>	Отделение отходов или длинноволокнистой фракции, химическая обработка их при температуре 80–180 °С и размол
Полуфабрикаты, полученные с интенсивной обработкой химическими реагентами (расход реагентов 10...15% и выше)		
Сульфированная химико-механическая масса	СХММ	Химическая обработка щепы при 130 °С с расходом сульфита натрия 12 % от массы а.с. древесины, размол
Бисульфитный полуфабрикат очень высокого выхода	БПОВВ	Химическая обработка щепы при 147 °С, размол

Бисульфитная химико-механическая масса	БХММ	Химическая обработка щепы бисульфитом натрия с расходом 8 % от массы а.с. древесины, размол
Сульфитная масса высокого выхода	СВВ	Интенсивная обработка щепы бисульфитным раствором
Сульфитная масса сверхвысокого выхода	ССВВ	Нет данных
Очень высокого выхода сульфитная масса	ОВВСМ	Нет данных
<b>Бессернистые химико-механические полуфабрикаты</b>		
Щелочная пероксидная механическая масса	ЩПММ	Двух- или трехступенчатая обработка щепы щелочным раствором пероксида водорода, размол при атмосферном давлении; древесное сырье лиственное, хвойное, смешанное
М-процесс отбели щепы или беленая химико-механическая масса	М-процесс отбели щепы, БХММ	Процессы, близкие по технологии и оборудованию к ЩПММ; древесное сырье лиственное
Холодно-щелочной (холодно-содовый) полуфабрикат	ХС	Пропитка щепы раствором карбоната натрия при температуре ниже 100°С, размол при атмосферном давлении; Древесное сырье лиственное

#### Контрольные вопросы

1. Для какой древесной массы сырьем является щепка?
2. Дайте определение механической древесной массе?
3. На какие две основные группы делятся древесные массы?
4. При каком технологическом режиме производят ТММ?
5. Какие древесные массы получают без предварительной химической обработки щепы перед размолом?
6. Расход бисульфита к массе а.с.в. при производстве массы высокой степени сульфирования?
7. Оборудование для производства дефибрерной древесной массы?

## 2. Древесное сырье для производства ДДМ и РДМ

Древесные породы, качество и свойства древесного сырья являются важнейшими факторами, влияющими на качество механической массы из щепы.

Одним из важнейших преимуществ механической массы из щепы по сравнению с дефибрерной массой, при производстве которой используется балансовая древесина, является возможность использования технологической щепы из отходов лесопиления древесины хвойных пород, а применение химических реагентов при производстве ХММ/ХТММ позволяет использовать так же древесину лиственных пород.

В то же время, следует отметить, что гибкость технологических процессов производства механической массы из щепы и возможность применения химических реагентов на различных ступенях технологического процесса позволяет значительно расширить ассортимент древесных пород, используемых при производстве ПФФ, и в ряде случаев, снизить требования к качеству древесного сырья.

Из древесных пород, произрастающих на территории России, промышленное значение для химической переработки имеют:

- хвойные - сосна, ель, пихта, кедр, лиственница;
- лиственные - осина, береза.

Хвойные породы были и пока остаются основным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности.

Из хвойных пород для производства ДМ предпочтение отдается **ели**, на долю которой приходится около 14 % лесных запасов. Основным анатомическим элементом еловой древесины, как и других хвойных пород, являются трахеиды.

До 70 % лигнина сосредоточено в срединной пластинке, остальной распределен во вторичной стенке клетки - это также характерно для всех хвойных пород.

Еловая древесина не имеет ярко выраженного ядра. В сравнении с другими хвойными породами она несколько богаче гемицеллюлозами и содержит меньше смолы. Получение из ели любых волокнистых полуфабрикатов не встречает затруднений, поэтому наилучшим сырьем для производства всех видов механической массы, является свежесрубленная древесина ели. Такая древесная масса обладает повышенной механической прочностью, повышенной белизной и используется для производства бумаги для печати. Масса имеет светло-желтый оттенок.

Пихта, наряду с елью, широко применяется в сульфит-целлюлозном и древесно-массном производствах. На ее долю приходится около 5 % лесных запасов. По химическому составу и анатомическому строению она близка к ели, но отличается меньшей плотностью (менее прочная) и присутствием более коротких волокон. После ели является более предпочтительным сырьем для производства древесной массы (иногда используют смесь ель-пихта).

Пихтовая масса более светлее еловой, но при хранении приобретает серый оттенок.

Сосна - традиционное сырье для производства полуфабрикатов щелочными способами. По анатомическому строению она близка к ели, однако содержит значительно больше смол (вызывает «смоляные» затруднения) и вызывает пожелтение полуфабриката, что ограничивает область ее использования.

Характерной особенностью сосны является также присутствие в ядровой части небольших количеств фенольных веществ - пиносильвина и его монометилового эфира, которые вызывают заметное торможение делигнификации при сульфитной варке.

Масса имеет красноватый оттенок и более пухлая. Механическая прочность удовлетворительная, но меньше чем у ели и пихты.

Кедр является продовольственной культурой. Специально для химической переработки заготовки кедра не ведутся, однако он вовлекается в переработку совместно с другими хвойными породами в качестве неизбежной добавки как результат сплошных рубок.

Древесина кедра имеет несколько более высокую плотность в сравнении с сосной и елью, а также содержит значительное количество смол, жиров и водно-экстрактивных веществ.

Лиственница относится к числу самых распространенных древесных пород. По строению и составу лиственница значительно отличается от других хвойных пород. Она относится к типичным ядровым породам. На долю ядра приходится 70-90 % стволовой части дерева. Основной анатомический элемент - трахеиды, составляющие 90 % и более древесного вещества. Доля паренхимы сердцевинных лучей 8,8-10 %, что значительно больше, чем у других хвойных пород (4,7 % у ели, 5,5 % у сосны и т.д.). Трахеиды заболони и ранних (весенних) слоев годовичных колец ядра по размерам и строению мало отличаются от трахеид сосны и ели. Трахеиды поздних (осенних) слоев в годовичных кольцах ядровой древесины толстостенны, имеют меньшее сечение люмена и значительно меньшую пористость. Следствием этого является более высокая плотность древесины.

Характерной особенностью лиственницы является воднорастворимый полисахарид арабиногалактан (снижается выход), содержащийся в ней в количестве около 14 % (с колебаниями от 5 до 30 %). Столь же характерно присутствие в ядре лиственницы веществ группы флавоноидов, представленных, главным образом, кверцетином и дигидрокверцетином. Содержание целлюлозы ниже, чем в древесине других хвойных пород. Не нашла большого применения из-за большого количества мелкой фракции и сильно уступает еловой по прочности.

Древесина лиственных пород часто произрастает в смешанных лесах вместе с другими породами, непригодных к современной переработке из-за значительных различий в свойствах. Все лиственные породы древесины могут перерабатываться в ВПВВ только при использовании химических реагентов.

Применение лиственной древесины в качестве сырья для производства «чисто» механической массы (ДДМ, РММ, ТММ) ограничено лишь 10-15% от общего объема используемого сырья. Повышение содержания лиственной древесины в общем объеме древесного сырья, используемого для производства механической массы свыше 15% приводит к снижению показателей механической прочности полуфабрикатов, а также повышению пылимости бумаги. Однако присутствие лиственных пород положительно влияет на непрозрачность, светорассеяние, сомкнутость поверхности, гладкость, восприятие типографской краски.

Осина наиболее пригодна для производства ХТММ (имеет высокий выход и показатели механической прочности, по своим свойствам приближается к осиновой сульфатной целлюлозе). Волокна осины значительно короче, чем волокна трахеид хвойных пород. Кроме того, осина содержит довольно большое количество коротких сосудистых элементов (25-60%). При механической обработке без предварительной обработки химикатами сосуды не полностью раздавливаются, крошатся и превращаются в мелкие частицы.

Большим недостатком древесины осины, является повышенная способность к гниению. Используют в композиции с хвойными породами, способствует увеличению пухлости и впитывающей способности.

Березовая древесина значительно плотнее осиновой. Она имеет низкие прочностные свойства и высокий расход энергии на размол. ХТММ и ХММ имеет более высокие показатели механической прочности, но сильно ухудшаются оптические показатели. Поэтому березовую ХТММ и ХММ используют для производства тарного картона.

ВПВВ из древесины лиственных пород имеет следующие существенные отличия от ВПВВ из древесины хвойных пород:

- в 2,5-3 раза меньшую длину волокна;
- на 4–6% меньше содержание лигнина. Причем лигнин располагается в срединной пластинке древесных волокон и легче удаляется при химической обработке;
- высокий выход летучих кислот (уксусной, муравьиной)
- более низкие механические показатели механической прочности, особенно сопротивление излому и раздиранию;
- меньшую способность к обезвоживанию;
- пониженную прочность во влажном состоянии, что может вызывать обрывность бумажного полотна;
- более низкую прочность поверхности бумаги

На целлюлозно-бумажные предприятия поставляется древесное сырье в виде: балансов, дровяной древесины, технологической щепы, опилки.

Балансами называют хвойную и лиственную древесину из стволов толщиной в верхнем отрубе 60 - 240 мм (такую толщину имеют деревья в возрасте приблизительно от 50 до 200 лет). Балансовая древесина является традиционным и наиболее качественным видом сырья.

К технологическим дровам относят древесное сырье, преимущественно лиственных пород, поставляемое в колотом виде. Для них характерно: высокое содержание различных гнилей, большие отклонения по кривизне, сильная сучковатость и засоренность корой, разнообразие размеров смешанный породный состав. Единственный, но весомый аргумент в пользу употребления технологических дров - значительно более низкая цена на них в сравнении с балансами.

Технологическая щепа производится в местах накопления древесных отходов и поставляется на целлюлозно-бумажные предприятия в готовом виде. Ее источниками являются:

- лесопильные отходы;
- отходы деревообрабатывающих предприятий;
- щепа из всего дерева;
- лесосечные отходы и тонкомерная древесина.

Лесопильные отходы - горбыли и рейки - образуются при изготовлении пиломатериалов из деловой древесины. Их характерной особенностью является то, что они практически целиком состоят из заболони сосны и ели; это де-

дает лесопильные отходы ценным сырьем для производства всех видов волокнистых полуфабрикатов.

Отходы деревообрабатывающих предприятия - мебельных, домостроительных и т. п. - обычно имеют смешанный породный состав. Щепа из них неоднородна по фракционному составу (по размерам частиц), но вполне пригодна для выработки многих видов волокнистых полуфабрикатов.

Лесосечные отходы и тонкомерная древесина (толщиной 3-5 см) скапливаются на лесосеках при рубках ухода и там же измельчаются. Качество щепы обычно невысокое, она содержит много коры, сучьев, мелкого сора.

Все более широкое использование технологической щепы целлюлозно-бумажными предприятиями стимулируется низкими ценами на этот вид сырья.

Щепу из всего дерева стали перерабатывать некоторые целлюлозные заводы США в начале 70-х годов. Толчком к этому послужило создание специальных передвижных машин "Chiparvester" для измельчения целого дерева, вместе с кроной и корой, прямо в лесу. Такая возможность привлекает максимально полным использованием заготавливаемой древесины и считается перспективной. Серьезные трудности, связанные с низким качеством щепы, пока ограничивают масштабы ее применения, однако успехи в области разработки специального оборудования и технологии "облагораживания" щепы дают основания для оптимистических прогнозов.

Опилки хвойных пород стали применять в значительных количествах для производства волокнистых полуфабрикатов с конца шестидесятых годов благодаря созданию специализированных варочных установок непрерывного действия. Из-за повреждения пилами значительной доли трахеид выход и прочностные свойства полуфабрикатов (целлюлозы и полуцеллюлозы) из опилок ниже, чем из щепы.

## **2.1 Требования, предъявляемые к качеству древесного сырья**

Основные характеристики качества балансов установлены ГОСТом для хвойных пород ГОСТ 9469–72, для лиственных ГОСТ 9462-71.

К признакам, которые характеризуют качество и пригодность древесины для переработки, относятся:

- порода древесины;
- плотность;
- влагосодержание;
- возраст и продолжительность хранения;
- ширина годичных колец;

- сучковатость;
- прямизна и округлость ствола;
- фракционный состав щепы;
- содержание смол и жиров (экстрактивные вещества)
- содержание коры;
- гниль, поврежденность грибами и насекомыми;
- белизна древесины.

### **Порода древесины**

Наилучшим сырьем для производства всех видов механической массы, изготавливаемой без применения химических реагентов (ДДМ, ДМД, РММ, ТММ), а также ХТММ, является свежесрубленная древесина ели.

ДДМ, ДМД, РММ, ТММ и ХТММ из древесины ели имеют наилучшие сочетания показателей механической прочности и оптических свойств.

Для производства ДДМ и ДМД наиболее предпочтительным сырьем является свежесрубленная древесина ели, менее предпочтительным — древесина пихты и смесь древесины пихты и ели, а также некоторые разновидности сосны, имеющие низкое содержание экстрактивных веществ (смол и жиров).

Применение химических реагентов щелочного характера позволяет использовать древесину осины при производстве ДМД. Использование древесины осины в качестве сырья для производства ДМД во многом определяется дефицитом баланса из елово-пихтовой древесины и желанием использовать как можно больший объем древесины лиственных пород для изготовления полуфабрикатов, применяемых в композиции бумаги и картона.

Древесная масса ДМД, ТММ из еловой древесины в настоящее время занимает ведущее положение в композиции основных видов бумаги для печати

При производстве ХТММ и ХММ использование древесины сосны определяется значительным количеством факторов, основными из которых следует считать: технологию полуфабриката (вид, режим использования химических реагентов, значение рН среды); содержание экстрактивных веществ (смол и жиров) в древесине, их химический состав; продолжительность и условия хранения древесного сырья.

При использовании лиственных пород древесины для производства механической массы обязательным условием является применение химических реагентов. Такие лиственные породы древесины, как граб, бук, клен, дуб и подобные им, не могут использоваться в качестве сырья для высококачественной механической массы даже при применении химических реагентов.

Производство ХТММ и ХММ из осины является важным резервом увеличения переработки древесины лиственных пород на волокнистые полуфабрикаты для производства бумаги и картона.

Содержание лиственной древесины в общем объеме сырья для производства чисто механической массы не должно превышать 10–15 %. Повышение содержания лиственной древесины в технологической щепе свыше 15 % приводит к снижению показателей механической прочности данных полуфабрикатов, а также к повышению пылимости бумаги.

Механическая масса из древесины лиственных пород имеет следующие существенные отличия от механической массы из древесины хвойных пород: в 2,5–3,0 раза меньшую длину волокна; на 4–6 % меньшее содержание лигнина: более низкие показатели механической прочности, особенно сопротивление излому и раздиранию; худшую способность к обезвоживанию; пониженную прочность во влажном состоянии; более низкую прочность поверхности бумаги.

Свойства различных древесных масс полученных из древесины ели и сосны представлены в таблице 1.

**Влажность** может быть представлена в виде одной из следующих величин:

- абсолютная влажность;
- относительная влажность.

Абсолютной влажностью называют содержание воды в древесине, выраженное в процентах по отношению к массе абсолютно сухой древесины.

Относительной влажностью называют содержание воды в древесине, выраженное в процентах по отношению к массе влажной древесины.

Влажность древесины свежесрубленного дерева зависит от его породы, условий произрастания, времени года и составляет для хвойных пород в среднем 54–61 %, для лиственных 45–53 %. При длительном хранении древесина высыхает до достижения равновесной влажности с окружающим воздухом. Это состояние называют воздушно-сухим (сокращенно в.с), соответствующая ему влажность зависит от температуры и относительной влажности воздуха. Для средних широт России воздушно-сухому состоянию отвечает влажность древесины 20–25 %.

Высокая влажность щепы для производства РММ необходима, так как вода является единственным пластификатором. При производстве NVV и ХТММ влажность щепы должна составлять 30% и более, так сырье подвергается

ется дополнительной обработке. Увеличение влажности повышает механическую прочность, особенно сопротивление на продавливание.

Таблица 1 Сравнение свойств различных видов древесной массы и сульфатной бленой целлюлозы

Свойства полуфабрикатов	Порода древесины, вид древесной массы								
	Ель						Осина		
	ДДМ	ДМД/Д	РДМ	ТММ	ХТММ	БХТММ	Беленная СФА цел.	БХТММ	Беленная СФА цел.
Выход, %	96	95	94	94	92	90	46	85	57
Садкость, мл.кан.ст	100	100	100	100	100	400	400	400	400
Ситепень помола, °ШР	68	68	68	68	68	32	32	32	32
Пухлость, см <sup>3</sup> /г	2,5	2,6	2,6	2,7	2,5	2,7	1,3	2,0	1,4
Разрывная длина, км	2,8	3,6	4,0	4,4	4,8	4,4	10,5	5,0	8,0
Сопротивление раздира- нию, мН*м <sup>2</sup> /г	4,4	5,1	7,4	8,0	8,8	1,3щ0	10,0	6,2	9,1
Белизна, %	59	57	57	55	60	78	88	80	90
Непрозрачность, %	97	96	95	95	94	82	68	86	72



При производстве массы из щепы достижение точки насыщения влагой должно быть обеспечено до размягчения щепы в пропарочной камере. При этом на процесс размягчения щепы в значительной степени влияет содержание влаги,

чем выше содержание влаги, тем ниже температура размягчения, или при данной температуре происходит более интенсивное размягчение щепы.

В производственных условиях необходимая влажность достигается в процессе промывки щепы (увлажнение до 35 – 45%). Эффективным средством повышения влажности щепы является ее интенсивное сжатие в винтовом питателе с последующим упругим саморасширением в воде.

Транспортировка щепы насосами также способствует пропитке ее водой.

Увлажнение высушенной щепы перед размолот способствует получению массы с показателями как из свежесрубленной древесины.

### **Плотность**

Плотность древесины также может быть представлена разными величинами. Различают:

- плотность древесного вещества;
- плотность древесины как физического тела;
- условную плотность древесины.

Плотность древесного вещества практически не зависит от породы древесины и с достаточной для технологических расчетов точностью может приниматься равной  $1,54 \text{ г/см}^3$ .

Плотность древесины определяется как масса абсолютно сухой древесины, отнесенная к единице ее объема.

Разумеется, плотность древесины меньше по величине, чем плотность древесного вещества, так как древесина имеет пористую структуру. Объем пор в абсолютно сухой древесине составляет от 50 до 80 % от объема древесины

Среднюю плотность наиболее распространенных пород можно принимать равной (в  $\text{г/см}^3$ ): ели 0,44; сосны 0,47; пихты 0,38; лиственницы 0,65; осины 0,43; березы 0,60; быстрорастущих тополей от 0,36 до 0,42.

Условная плотность - это количество древесного вещества, заключенного в единице объема влажной древесины (в  $\text{г/см}^3$  или  $\text{кг/м}^3$ ). При увлажнении до точки насыщения или высушивании размер образца древесины изменяется - увеличивается за счет набухания или уменьшается в резуль-

тате усушки, поэтому условная плотность всегда меньше плотности той же древесины в абсолютно сухом состоянии.

В процессе дефибрирования и размола предпочтительнее использовать древесное сырье с низкой плотностью, так как тонкостенные волокна ранней древесины легче приобретают гибкость и пластичность в сравнении с толстостенными волокнами поздней древесины.

В процессе дополнительной обработки древесина низкой плотности легче подвергается обработке.

По возрастанию плотности древесное сырье располагается в следующем порядке: осина, ель, пихта, кедр, сосна, береза, лиственница.

### **Ширина годичных колец**

Ширина годичных колец является косвенным указанием на плотность древесины: как правило, узкие годичные кольца характерны для более плотной древесины. В практике отечественных предприятий древесину с шириной годичных колец от 2,5 мм и выше относят к широкослойной, от 1 до 2,5 мм - к среднеслойной, менее 1 мм - к узкослойной.

### **Сучковатость**

Сучки представляют собой плотную (до  $0,7 \text{ г/см}^3$ ) темную древесину, состоящую из коротких грубых волокон. При производстве целлюлозы сучки не провариваются и в последующих стадиях технологического процесса могут быть легко отделены от волокнистой массы при сортировании. Однако небольшое количество волокон отщепляется с поверхности размягченных сучков и загрязняет целлюлозу мелкой кострой. Существующие стандарты предусматривают учет числа и размеров сучков при отнесении древесины к той или иной категории качества.

### **Прямизна и округлость ствола**

Прямизна и округлость ствола считаются признаками здоровой древесины. Кривизна ствола затрудняет окорку и дефибрирование. Эксцентричная, овальная форма поперечного сечения ствола обычно сопровождается кренью - утолщением и уплотнением поздней части годичных слоев образуется в сжатой зоне изогнутых стволов хвойных пород, темного цвета, характеризуется повышенной твердостью и плотностью, высоким содержанием лигнина и повышенным целлюлозы.

Крень плохо пропитывается варочными растворами, увеличивая количество непровара и костры, но не исключает возможность переработки древесины

### **Наличие гнили и пороков**

Гниль - это видоизмененная под воздействием грибов и в большей или меньшей степени разрушенная древесина. Наиболее благоприятные для роста грибов условия: температура 20-35 °С, влажность 30-50%.

К видам гнили, наиболее распространенным на складах древесины, относятся:

- синева;
- мраморная (белая) гниль;
- красная гниль;
- бурая гниль.

Синева вызывается грибами *Cerastomella pilifera*, которые питаются содержимым клеток. Синева существенно не снижает качество древесины и относится к допустимым порокам, однако полуфабрикаты из такой древесины имеют худшую белизну и труднее отбеливаются. Техническими нормами допускается поверхностная синева в виде отдельных пятен на торце ствола.

Мраморные гнили характерны для лиственной древесины. Вызывающие их грибы, в частности, *Fomes fomentarius*, относятся к лигнино-разрушающим. Они поражают центральную часть ствола. Первая стадия этой гнили не ухудшает выхода и качества полуфабрикатов, пораженная древесина допускается к переработке. При конечной стадии, когда цвет древесины становится желтовато-белым или мраморно-белым с темными линиями и развивается трухлявость, выход и прочность полуфабрикатов падает; такая древесина к переработке не допускается.

Красная гниль вызывается грибами *Trametes pint* (возникает на растущем дереве) и *Polyporus varovarius* (сухая гниль, способная развиваться и на срубленном дереве). Гниль проявляется в виде красно-бурых пятен на торце дерева и полос на продольном разрезе. С развитием гниения древесина распадается на сухие кубики. Переработка древесины в этой стадии недопустима.

Буряя гниль часто поражает сосну и ель (гриб *Polyporus borealis*), лиственницу (*Fomes officinalis*, *Stereum abietinum*), березу и осину (*Forties igniaris*). В начальной стадии поражения центральная часть ствола приобретает бурую окраску. В этой стадии гниль не препятствует использо-

ванию древесины. Для конечной стадии характерно образование пустот и трещин, заполненных белыми пленками грибницы, древесина становится непригодной для переработки.

Разрушение древесины грибами сопровождается уменьшением ее плотности и увеличением растворимости в 1 %-ном растворе гидроксида натрия. В таблице 2 представлены данные о влиянии гнили на свойства ХТММ из осины.

Таблица 2 Влияние гнили на свойства ХТММ из осины

Показатель	Без гнили		7% гнили	
	Небеленая	Беленая	Небеленая	Беленая
Выход, %	94,6	92,2	94,7	89,6
Степень помола, °ШР	50	59	51	58
Сопrotивление раздиранию, Н*м <sup>2</sup> /г	1,5	2,8	1,2	2,6
Сопrotивление раздиранию, мН	5,0	6,5	1,0	6,1
Белизна, %	60,7	79,9	51,6	74,2

Повреждают древесину также насекомые и их личинки. Короед оставляет на поверхности древесины неглубокие поверхностные бороздки, не оказывающие влияния на выход и качество полуфабрикатов. Более вредна червоточина, представляющая собой ходы, проникающие в толщу древесины. Нередко они заполнены грязью и способствуют проникновению грибковых заболеваний, поэтому сортность пораженной древесины понижается.

Из прочих признаков качества отметим такие пороки, как трещины и поверхностную обгорелость ствола. Трещины не влияют на технологический процесс, на выход и свойства полуфабрикатов, поэтому не имеют существенного значения для целлюлозно-бумажного производства. Обгорелость, напротив, совершенно недопустима, так как частички угля не поддаются воздействию реагентов и сильно повышают сорность полуфабрикатов.

### Фракционный состав щепы

Стабильность фракционного состава щепы является обязательным условием получения механической массы высокого качества.

Колебания в размерах щепы на 20-25% отрицательно сказываются на выходе и качестве древесной массы.

Неодинаковая щепа неравномерно прогревается и размягчается при термогидролитической обработке. Щепа используемая в качестве сырья для производства механической массы должна иметь длину от 7 до 22 мм, ширину 20 мм, толщина 3,6 – 4,9 мм и не должна превышать 8 мм.. Доля нормальной фракции должна быть 90%, доля предельно крупной фракции не должна превышать 1%, мелкой фракции также 1%.

Количество щепы длиной свыше 22 мм и менее 7 мм должно быть минимально, а щепа длиной свыше 29 мм и менее 3 мм должна быть удалена из технологического потока. Щепа длиной 29 мм после дополнительного размола возвращается на дополнительное сортирование, а щепа менее 3 мм направляется на сжигание.

Характеристика щепы для производства химико-термомеханической массы представлена в таблице 3.

Таблица 3 Показатели технологической щепы для производства ХТММ из хвойных пород древесины

Наименование	Показатели
Размер щепы	
– длина, мм	15 – 25
– ширина мм,	6 – 20
– толщина, мм не более	5
Породный состав	ель, пихта – 100 %
Фракционный состав, %	
– крупная, остаток на сите Ø 30 мм, не более	4,0
– нормальная, остаток на сите Ø 10 мм, не менее	85,0
– мелкая, остаток на сите Ø 5 мм, не более	10,0
– опилки, не более	1,0
Засоренность, %:	
– массовая доля коры, не более	1,0
– массовая доля гнили, не более	1,0
Минеральные примеси, металлические включе-	не допускаются.

ния и обугленные части	
Влажность щепы до промывателя	40–46%
Применяемая щепа из древесины следующих сроков заготовки: – до 6-и месяцев хранения – до 3-х месяцев Срок хранения свежесрубленной щепы – не более 14 суток	30 % объема 70 % объема,

### **Содержание коры**

Содержание коры в древесном сырье, должно быть минимальным. Кора снижает белизну и показатели механической прочности. Служит причиной образования темных пятен в бумаге. Повышение содержания коры в щепе на 1% понижает белизну полуфабриката на 4%.

С ростом содержания коры при неизменной степени помола массы снижается УРЭ на размол, количество длиноволокнистой фракции и сопротивление раздиранию, увеличивается содержание костры. Содержание коры должно быть до 0,5%.

### **Содержание экстрактивных веществ**

Содержание экстрактивных веществ (смол и жиров) оказывает негативное влияние на качество механической массы. Они вызывают смоляные затруднения и снижают оптические свойства массы. На величине межволоконных сил связи наличие экстрактивных веществ сказывается незначительно.

В хвойной древесине экстрактивные вещества сосредоточены в легкодоступных смоляных ходах и паренхимных клетках. В процессе дефибрирования или размола экстрактивные вещества диспергируются, а затем или вымываются, или коагулируются и оседают на волокнах. Регулирование значения рН при дефибрировании или размоле и добавка ПАВ способствуют полному удалению экстрактивных веществ.

## **2.2 Свойства древесной массы**

Основные показатели по которым оценивают качество древесной массы на предприятиях регламентируются либо ГОСТом либо ТУ.

Качество древесной массы оценивают по следующим основным показателям:

- характер размола и степень помола;

- фракционный состав;
- сорность и белизна;
- прочностные свойства.

### **Характер размола и степень помола**

По характеру размола различают жирную и тощую (садкую) древесную массу. Жирная масса содержит большое количество раздавленных и расщепленных фибрилл с раздробленными в виде бахромы концами, она труднее отдает воду, но имеет более высокую прочность. Для тощей (садкой) массы характерны неразработанные волокна, короткие обрывки волокон, небольшое количество фибрилл; тощая масса легко отдает воду. Бумага из нее рыхлая, менее прочная.

Количественной характеристикой рассматриваемого свойства является степень помола (табл.4).

Степень помола определяется путем измерения интенсивности обезвоживания определенного количества волокнистой суспензии в специальном приборе. В ряде стран степень помола измеряют как садкость по стандартному методу и выражают в миллилитрах, в других странах (в том числе в России) степень помола выражают в градусах Шоп-Риглера (°ШР).

Таблица 4 Степень помола массы, предназначенной для различных видов бумаги и картона

Наименование	Степень помола массы	
	<sup>0</sup> ШР (жирность)	<sup>0</sup> КС (садкость)
Для картона различных видов	20–25	600–175
Для бумаги:		
–мундштучной, обойной, обложечной	55–60	175–150
– газетной	70–72	88–74
– типографской	75–78	68–57
– мелованной	80–85	50–38
– для художественной печати, тонкой печати	80–85	50–38

### **Фракционный состав**

Фракционный состав ДДМ очень неоднороден. Определяется состав путем сортирования древесной массы на наборе металлических сит

разных номеров. Российские производители используют аппараты-фракционаторы ФДМ, с ситами № 9, 20 и 40. Номер сита равен числу отверстий на 1 см его длины. В некоторых странах с десятичной системой единиц номера сит выражают числом отверстий на линейном дюйме, эта единица измерения называется меш.

Анализируемая проба древесной массы разделяется на четыре фракции. Три первых фракции - остатки на соответствующих ситах; четвертая фракция, прошедшая через сито № 40, называется мельштоф. Традиционный состав характеризуют долей каждой фракции (в процентах) однородной пробы ДДМ.

**Определение сорности и белизны ДДМ** не отличается от способов и свойств других полуфабрикатов по этим показателям.

**Прочностные свойства ДДМ** обычно характеризуют сопротивлением взрыву. Перед изготовлением отливок для измерения прочностных ДДМ не подвергают, в отличие от других волокнистых полуфабрикатов, дополнительному размолу.

В России вырабатывают ДДМ, в соответствии с ГОСТ 10014, пяти марок - А, Б, В, Г и К.

Марки А и Б предназначены для производства газетной, типографской и писчей бумаги в композиции с небеленой и беленой целлюлозой

Марка В - для писчей цветной, обложечной, афишной бумаги и картона в композиции с небеленой целлюлозой, а также для бумаги и картона с покровным слоем.

Марка Г используется при выработке ряда бумаг технического назначения (оберточной, шпульной и др.),

Марка К используется при выработке коробочного и переплетного картона. Ниже приведены некоторые требования к качеству товарной древесной массы (табл.5)

Таблица 5 Показатели качества древесных масс

Показатель	Марка				
	А	Б	В	Г	Д
Степень помола, °ШР, не более	72	72	72	72	72
Разрывная длина, м, не менее	2900	2900	1600	2200	1900
Состав по длине волокон					

– содержание 1 фракции (остаток на сите №9), %	20±3	20±3	20±3	20±3	20±3
Сорность - число соринок на 1 м <sup>2</sup> – площадью свыше 0,1 до 0,5 мм <sup>2</sup> , не более – площадью свыше 0,5 мм <sup>2</sup> не более	500	800	1200	Не нормируется	
Белизна, %, не менее	72	Не нормируется			

На предприятиях, перерабатывающих древесную массу в жидком потоке, ее качество должно удовлетворять требованиям технической условий (ТУ), которые отличаются от требований стандарта на товарную древесную массу. В таблице 6 приведены технические условия на древесную массу предприятий выпускающих газетную бумагу.

Таблица 6 ТУ на древесную массу для газетной бумаги

Показатели	Соликамский ЦБК	Кондопожский ЦБК	Балахинский ЦБК	Сыктывкарский ЦБК
Степень помола, °ШР	66–70	74–77	73–75	70±3
Разрывная длина, м	2900	3200	3300	3800
I фракция, %	35	30±3	36–38	35
IV фракция, %	45	40±3	41–42	45

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные характеристики качества древесины?
2. Какая должна быть влажность древесины для дефибрирования?
3. Фракционный состав щепы для производства рафинерной древесной массы?
4. По каким показателям оценивают качество древесной массы?
5. Какие марки ДДМ вырабатывают в России?
6. Единица измерения степени помола древесной массы?

### 3. Производство дефибрерной древесной массы

Дефибрерная древесная масса (сокращенно ДДМ; название происходит от латинских *de* - отделение и *fibra* - волокно) образуется при истирании древесины абразивной поверхностью специальной керамики. Сырьем служит древесина в виде балансов. Аппарат для производства ДДМ называется дефибрером, а производящий истирание рабочий орган – дефибрерным камнем.

Первый патент на способ производства древесной массы путем истирания древесины на поверхности вращающегося камня (дефибрирование) выдан Фридриху Келлеру из Саксонии (Германия, 1843). В 1846 г. Келлер заключил договор с Г. Фельтером, который в 1852 г. совместно с фирмой Фойт создал промышленный дефибрер. Демонстрации дефибреров на выставке в Мюнхене (1854) и всемирной выставке в Париже (1867) послужили толчком для их быстрого распространения.

Изначально древесной массе отводится роль наполнителя, который позволяет заменить дорогостоящую целлюлозу при выработке массовых сортов бумаги, главным образом газетной.

Начиная с 1970 –х годов широкое развитие получило производство механической массы из щепы (ТММ и ХТММ). Более высокое качество этих полуфабриката в сравнении с ДДМ позволило полностью или частично заменить им целлюлозу в ряде видов массовой продукции. Из 35 млн.т механической массы, производящейся в мире, около 30 млн. т производится из щепы на дисковых мельницах.

Совершенствование технологий производства древесной массы из щепы привело к тому, что полностью прекращен выпуск бурой древесной массы, происходит снижение объемов производства традиционной дефибрерной древесной массы (ДДМ). Причем предприятия, выпускающие ДДМ, либо закрываются, либо перепрофилируются на выпуск рафинерной древесной массы. Предприятия, выпускающие ДДМ, переходят на производство дефибрерной массы давления на двухпрессовых дефибрерах.

Если рассматривать достоинства и недостатки дефибрерной древесной массы, то к достоинствам можно отнести: низкую стоимость по сравнению с целлюлозой; минимальное воздействие на окружающую среду; положительное влияние на ряд потребительских свойств вырабатываемой бумаги, прежде всего – на печатные свойства. К недостаткам можно отнести: высокие требования к качеству древесного сырья и связанная с этим ограниченность сырьевой базы; сравнительно низкий уровень механизации и автоматизации

производства (особенно операций загрузки древесины в дефибреры); низкие прочностные свойства полуфабриката.

### Общая технологическая схема производства дефибрерной древесной массы

В зависимости от требуемого качества древесной массы применяют разнообразные схемы производства. Поскольку наибольшее количество древесной массы вырабатывается для производства печатных видов бумаги (газетной и типографской), то на рис. 1 приведена принципиальная схема производства дефибрерной древесной массы для этих видов бумаги.

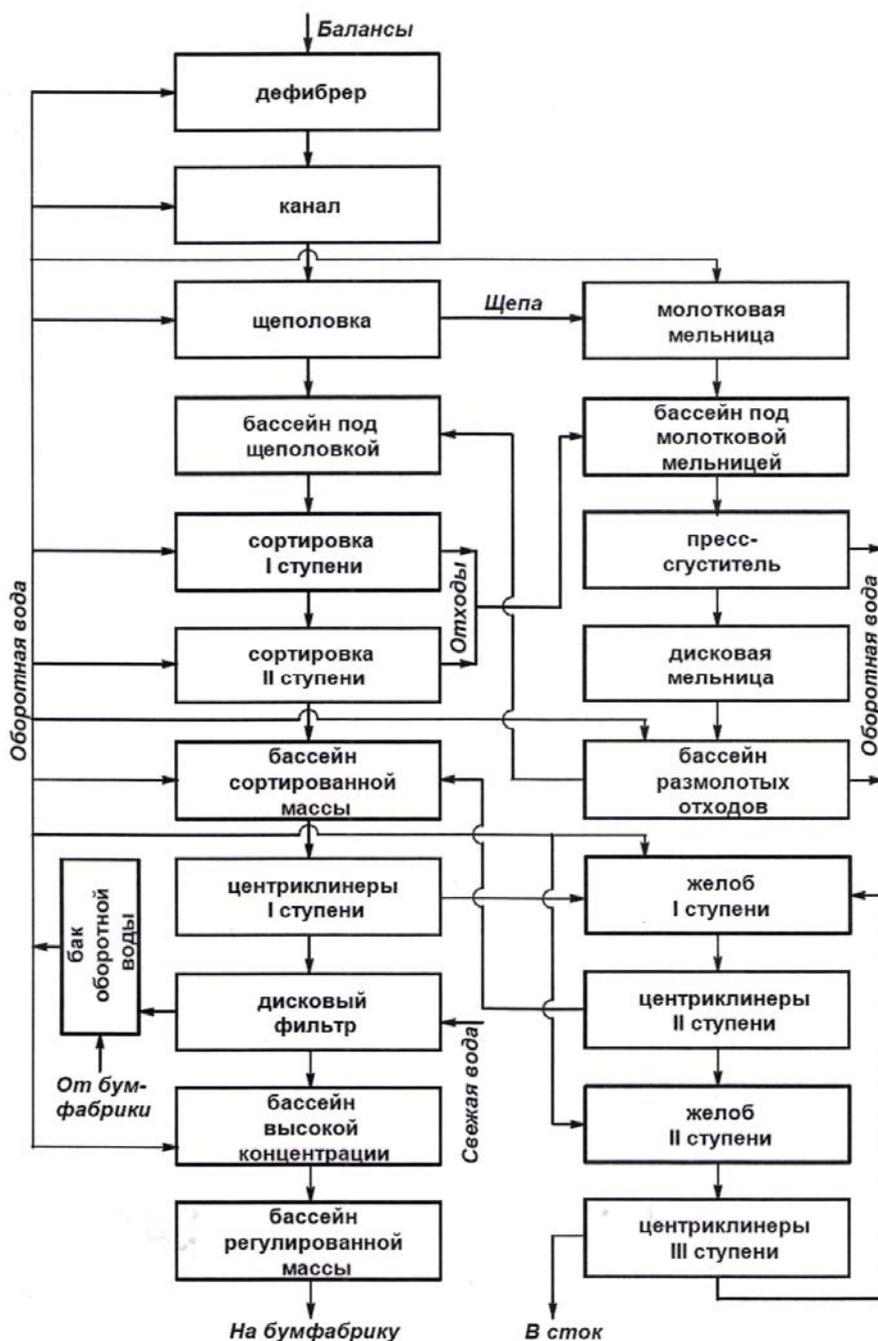


Рис.1 Технологическая схема производства ДДМ

Из ванн дефибреров масса перетекает в канал, проходящий вдоль всех дефибреров, в котором дополнительно разбавляется оборотной водой до концентрации 1,5 %, и самотеком поступает на грубое сортирование – в щеполовки. В настоящее время в основном используются щеполовки вибрационного типа, работающие при концентрации массы не выше 1,5 %. Щепа образуется при дефибрировании за счет проскальзывания в зазор между камнем и гребенкой остатков истираемых балансов в виде длинных отщепов - лучин. Длина их достигает 150-250 мм, что исключает любой вид транспортировки массы от дефибреров к щеполовкам, кроме самотечного.

Это требует установки щеполовок и сборного бассейна под щеполовками ниже отметки установки дефибреров. Как правило, дефибреры устанавливаются отметке 0,0 м из-за их большой массы и высокого коэффициента динамической нагрузки, поэтому щеполовки и бассейны под щеполовками заглубляются иногда до отметки 4,2 м.

Количество образующейся щепы при нормальной работе дефибрера не должно превышать 1 % от количества истираемой древесины. Отделенная от массы щепа чаще с помощью системы ленточных транспортеров подается на предварительное измельчение в молотковую мельницу, куда также поступает оборотная вода и концентрация массы при измельчении составляет 2–3 %. После мельницы масса поступает в бассейн отходов, куда подаются также отходы тонкого сортирования. Измельченная до состояния мелких спичек щепа и отходы тонкого сортирования в виде крупных пучков волокон представляет собой хороший волокнистый материал, который должен подвергаться дополнительной разработке. Как показывает опыт работы многих предприятий, из этого вида отходов можно получить древесную массу, не уступающую по своим показателям массе основного потока.

Смешанные отходы поступают на сгущение в пресс-сгуститель, где обезвоживаются до концентрации 20–30 % и подаются на размол в дисковую мельницу. Размолотые отходы после дисковой мельницы разбавляются оборотной водой и возвращаются в общий поток сортирования - в бассейн под щеполовками.

В этот бассейн поступает масса от щеполовок после отделения от нее щепы, ее концентрация после разбавления sprысками на щеполовках не превышает 1,2-1,3 %. С такой концентрацией масса поступает на тонкое сортирование, как правило, в две ступени. Отходы после тонкого сортирования в количестве до 30 % от поступающей массы направляются в поток переработки отходов. Такое повышенное количество отводимых от сортировок отходов обусловлено требованием максимального снижения содержания костры в

хорошей массе и возможностью возвращения дополнительно размолотых отходов в общий поток массы.

Масса после тонкого сортирования разбавляется оборотной водой до концентрации 0,5-0,6 % и подается на трех- или четырехступенчатую очистку в вихревых очистителях. Отходы после третьей или четвертой ступени очистителей содержат большое количество песка и поэтому направляются в сток. Количество их не превышает 0,5-0,7 % от массы, поступающей на очистку.

Очищенная масса с концентрацией около 0,5 % поступает на сгущение в барабанный или дисковый фильтр до концентрации 10-12 %. Дисковые вакуумные фильтры с воздушным съемом папки позволяют достигнуть концентрации сгущенной массы до 15 % при их большой площади фильтрования. Сгущенная масса поступает для аккумуляирования в бассейн высокой концентрации.

Масса из бассейна после разбавления и регулирования концентрации до 3,5–4,0 % поступает в бассейн регулированной массы, из которого направляется на бумажную фабрику или на отбелку.

Оборотная вода после сгущения массы используется на спрысках дефибреров и для разбавления массы по технологическому потоку.

Свежая вода используется для промывки сеток сгущающих фильтров, при приготовлении отбеливающих химикатов, для технологических нужд.

#### Контрольные вопросы

1. Укажите основные этапы производства дефибрерной древесной массы?
2. Укажите достоинства и недостатки древесной массы?
3. При какой концентрации массы работают щеполовки?
4. Количество отходов уходящих в сток после вихревой очистки?
5. Где используется оборотная вода в технологическом потоке производства дефибрерной древесной массы?

#### **4. Типы дефибреров их характеристика**

По принципу действия дефибреры делят на две группы: периодического и непрерывного действия.

Классификацию дефибреров проводят в зависимости от способа прижима и подачи древесины к дефибрерному камню

По этому признаку дефибреры могут быть отнесены к одному из следующих типов:

- прессовые (периодического действия);
- шахтные (непрерывного действия);
- кольцевые (непрерывного действия).

Все существующие дефибреры имеют одни и те же основные функциональные узлы:

- вращающийся дефибрерный камень;
- устройства для подачи и прижима древесины к камню;
- ванну под камнем для сбора древесной массы;
- устройство для насечки камня.

#### **Прессовые дефибреры**

Современные двухпрессовые дефибреры выпускаются с камнем диаметром 1575 мм или 1800 мм на длину балансов 1000 мм, 1220 мм, 1500 мм и 1600 мм. Эти дефибреры работают большей частью по спаренной схеме - два дефибрера приводятся в действие от одного электродвигателя. Если на два дефибрера устанавливается один двигатель, то его мощность удваивается. Этот дефибрер, помимо обычного регулятора нагрузки на двигатель, имеет автоматическое управление переключением золотников гидроподдачи цилиндров прессов и цилиндров шаберов загрузочных коробок. Привод механизма насечки выполнен от электродвигателя, работает при двух скоростях.

Наибольшее распространение получили дефибреры типа Грейт-Норзерн и Тампелла (рис. 1).

Главный вал дефибрера, на котором закреплен дефибрерный камень, соединяется с ротором электродвигателя с помощью промежуточного вала. Промежуточный вал установлен в подшипнике с опорой, регулируемой по высоте и в горизонтальной плоскости. Это дает возможность точной центровки.

Слева и справа от камня под небольшим углом к горизонту расположены две прессовые камеры. Боковые стенки камер образованы стани-

ной, нижние стенка – донными плитами. Роль верхних стенок играют задвижки, перемещение которых осуществляется с помощью собственных гидроцилиндров.

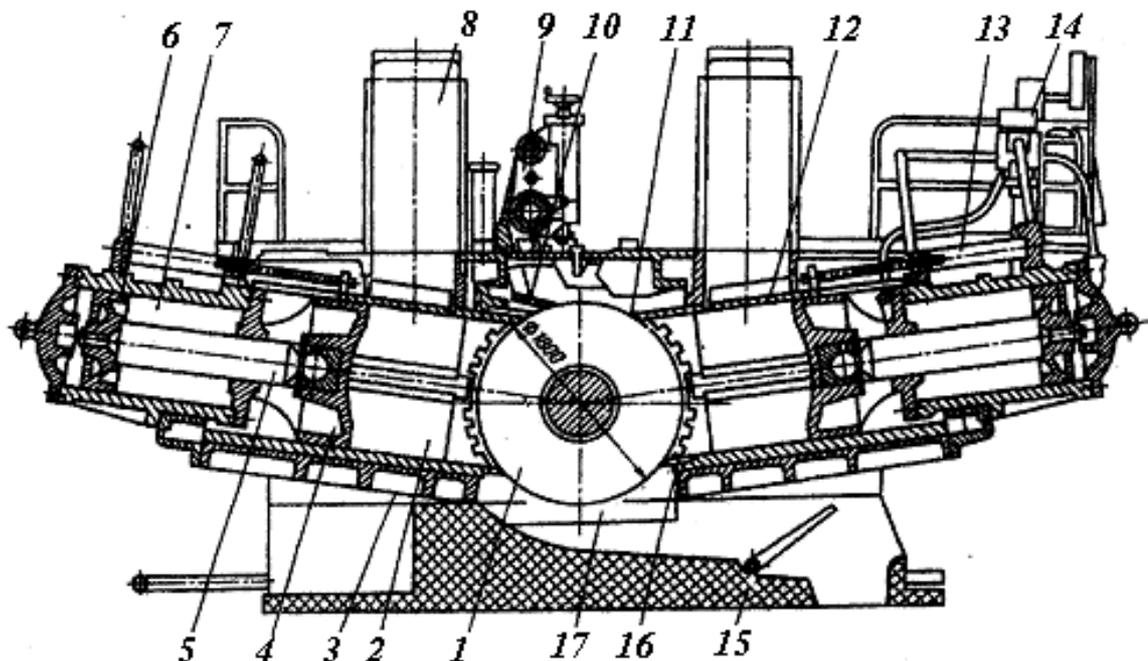


Рисунок 1 Прессовый дефибрер ДП-03:

1 – дефибрерный камень; 2 – загрузочная камера пресса; 3 – корпус; 4 – башмак; 5 – шток; 6 – поршень; 7 – гидроцилиндр; 8 – загрузочная шахта; 9 – кованный аппарат; 10, 11 – шаберы; 12 – шибер; 13 – гидроцилиндр шибера; 14 – гидравлическая система; 15 – ванна; 16 – гребенка; 17 – переливная перегородка

В донных плитах и в верхней плите в местах их примыкания к камню закреплены стальные гребенки, расположенные вдоль образующих камня и по периферии торцевых поверхностей. Назначение гребенок – удерживать балансы в зоне дефибрирования и предотвращать попадание обмолышей в ванну дефибрера. Зазор между гребенками и камнем должен быть около 1 мм. При больших зазорах значительно увеличивается количество крупных щепок, попадающих из зоны дефибрирования в ванну. По мере износа камня верхняя и нижняя гребенки перемещаются по направлению к камню с помощью специальной винтовой пары. Гребенки, расположенные на боковых стенках станины, заходят за торец камня, в их перемещении нет необходимости.

Торец каждой прессовой камеры закрыт плитой, на которой закреплен гидроцилиндр пресса. Его шток соединен с нижним башмаком при помощи сферического шарнира. Для уменьшения подвижности балансов при прижи-

ме их к камню поверхность башмака, обращенная к древесине, делается рифленой.

Над прессовыми камерами расположены загрузочные камеры. Они предназначены для размещения балансов на разовую загрузку. Дном загрузочных камер служат задвижки.

Над камнем на специальной плите установлен ковочный аппарат.

Прессовые дефибреры относятся к аппаратам периодического действия. Порция балансов автоматически подается в загрузочную камеру и удерживается задвижкой. После истирания очередной порции балансов башмак отводится от камня в исходное положение, задвижка отодвигается в сторону, подготовленная новая порция балансов высыпается в прессовую камеру. Задвижка возвращается на прежнее место, и гидроцилиндр начинает рабочий ход. В его начальном периоде происходит уплотнение балансов в прессовой камере, башмак движется быстро. Затем скорость перемещения башмака замедляется, начинается процесс дефибрирования. В это время новая порция балансов поступает из линии загрузки в загрузочную камеру. Все операции происходят в автоматическом режиме.

Дефибрер снабжен системой мощных sprays для очистки камня от древесной массы. Для уменьшения попадания древесной массы после первого (по ходу вращения камня) пресса в зону истирания второго пресса в пространстве между прессами над камнем установлены шаберы и часть sprays. Уровень массы в ванне регулируется переливным щитом. Заданная температура в ванне поддерживается с помощью регулирующей аппаратуры. Датчики температуры установлены в зубьях гребенок каждой прессовой камеры.

Техническая характеристика дефибрера дефибреры фирмы Тампелла представлена в таблице 8.

Таблица 8 Характеристика двухпрессовых дефибреров фирмы Тампелла

Тип дефибрера	Мощность двигателя, кВт	Длина баланса, м	Диаметр камня, мм	Частота вращения камня, об/мин	Окружная скорость, м/с	Площадь дефибрирования, м
1510	1690	1,0	1575	250 300	20,6 24,7	1,79
1512	2060	1.2	1575	250 300	20,6 24,7	2.18
1515	2430	1,5	1575	250 300	20,6 24,7	2,68
1810	2950	1,0	1800	250 300	23.5 28,2	2,10
1812	3540	1.2	1800	250 300	23.5 28,5	2.55
1815	3700	1,5	1800	250	25,3	3,15
1815	4800	1,5	1800	300	28,2	3,15
1815	5900	1,5	1800	375	35,3	3,15
1815	7400	1,6	1800	375	35,3	3,85

Регулирование прижима баланса к камню основано на измерении и поддержании на постоянном уровне энергии, потребляемой электродвигателем привода камня. Уменьшение нагрузки двигателя в конце рабочего цикла одного из прессов регистрируется датчиком, сигнал которого поступает в систему управления прижимом балансов. В результате увеличивается компенсирующее давление во втором прессе.

К недостаткам в работе прессовых дефибреров относится низкая удельная производительность (производительность в тоннах на 1 м поверхности дефибрирования). Это объясняется неравномерной укладкой баланса в прессовых дефибрерах, что приводит к уменьшению поверхности дефибрирования. Продолжительность дефибрирования одной порции балансов составляет 8–10 мин.

Производственный цикл каждого пресса дефибрера прерывается 100 раз в сутки, каждый продолжительностью 22 с, поэтому около 5% вырабатываемой массы производится при повышенном давлении, что сказывается на качестве древесной массы.

**Шахтные дефибреры** отличаются тем, что загрузка балансов осуществляется непрерывно и автоматически через высокую шахту, расположен-

ную над камнем. В зависимости от способа прижима баланса к камню различают следующие конструкции шахтных дефибреров:

- магазинные;
- цепные;
- винтовые.

### Цепные дефибреры

Цепные дефибреры, впервые построенные фирмой Фойт в 1922 году, явились первыми аппаратами непрерывного действия; до этого в промышленности использовались только дефибреры периодического действия с гидравлическими устройствами подачи древесины к камню. Отличительной особенностью цепных дефибреров является способ перемещения древесины в шахте и ее прижима к камню с помощью движущихся цепей.

На отечественных предприятиях установлены цепные дефибреры фирмы Фойт V и отечественные дефибреры типа ДЦ (рис.2).

На отечественных предприятиях установлены цепные дефибреры марок ДЦ-01, ДЦС-02, ДЦ-03, ДЦ-04 (табл. 8). Производительность этих дефибреров 40-55 т/сут для одиночных и 80 т/сут - для спаренных.

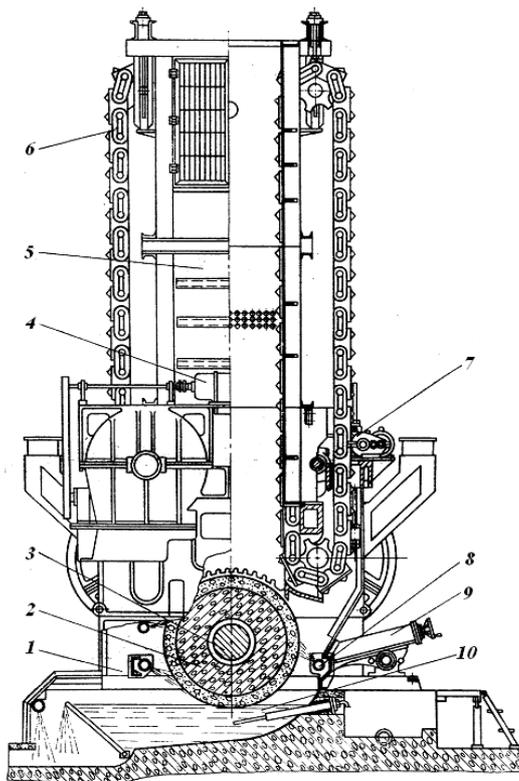


Рисунок 2 – Цепной дефибрер ДЦ-04-1:

1 – станина; 2 – дефибрерный камень; 3 – главный вал; 4 – электродвигатель привода цепей; 5 – шахта; 6 – цепи; 7 – механизм подъема шахты; 8 – трубы sprысков; 9 – ковочный аппарат; 10 – ванна

Таблица 9 Техническая характеристика цепных дефибреров типа ДЦ

Показатели	ДЦ-01	ДЦС-02	ДЦ-03А	ДЦ-04-1	ДЦ-06
Мощность главного двигателя, кВт	2500	4000	2500	3200	1250
Длина балансов, мм	1220	1220	1220	1220	1220
Диаметр камня, мм	1800	1800	1800	1800	1500
Частота вращения камня, об/мин	245	250	250	300	300
Окружная скорость камня, м/с	23,0	23,3	23,3	28,3	23,3
Производительность по воздушно сухой массе, т/с	40	80	40	55	20
Масса, т	132,6	193,0	123,8	125,0	60,0

Давление воды для sprысков 0,5–0,6 МПа; производительность 55 т/сут воздушно сухой древесной массы со степенью помола 65–70 °ШР.

Чугунная литая станина дефибрера облицована листовой нержавеющей сталью для защиты от коррозии. В ее корпусе имеется отверстие для вала и люк для контроля качества укладки балансов в шахте, а при необходимости – и для выгрузки балансов.

Вал с укрепленным на нем дефибрерным камнем вращается в подшипниках, опирающихся на фундаментную плиту. Привод осуществлен через эластичную муфту от синхронного электродвигателя.

Над станией подвешена на четырех винтах подвижная шахта. Нижняя часть шахты воспринимает значительные распорные усилия со стороны балансов. Она выполнена из стальных отливок и облицована, как и станина, нержавеющей сталью. В нижней части шахты вдоль образующей камня закреплены гребенки, удерживающие балансы в зоне дефибрирования. Торцевые поверхности камня также прикрыты гребенками вдоль наружной кромки. Верхняя часть шахты сварная, из гнутого профиля. Шахта может перемещаться в вертикальной плоскости с помощью специального устройства, оснащенного собственным электродвигателем. Вертикальное перемещение

шахты необходимо для регулирования зазора между гребенками и поверхностью камня, а также для подъема шахты при замене камня.

Для прижима балансов к камню дефибрер оснащен двумя парами цепей, расположенных по бокам шахты таким образом, что нисходящие звенья проходят внутри шахты, а восходящие – снаружи. Для захвата балансов звенья цепи снабжены выступами. Каждая цепь огибает две звездочки – нижнюю ведущую и верхнюю ведомую. Во время работы цепи катятся по направляющим полосам шахты, благодаря чему значительно снижается трение и износ цепей. Натяжение цепей производится винтовым механизмом в верхней части шахты. Привод механизма подачи балансов осуществляется от двигателя постоянного тока с тиристорным преобразователем. Это дает возможность плавно регулировать скорость подачи от 0 до 220 мм/мин.

В станине установлены трубы sprысков, сгруппированные в двух зонах – передней (при входе камня в зону истирания) и задней (при выходе камня из зоны истирания). Задние sprыски имеют два ряда отверстий. Струи воды из верхнего ряда орошают камень, охлаждая его и смывая древесную массу. Вода из нижнего ряда разбавляет массу в ванне дефибрера в месте входа камня в волокнистую массу.

Для регулирования уровня массы в ванне дефибрера используется подпорный щит, нижняя часть которого прикреплена шарнирно к дну ванны, а верхняя подвешена на тросах и может перемещаться.

Дефибрер оснащен ковочным аппаратом для периодической насечки камня. Аппарат имеет собственный двухскоростной электродвигатель, обеспечивающий скорость перемещения ползуна с шарошкой 120 или 230 мм/с.

Головной моделью является дефибрер ДЦ-04-1, основными отличиями которого от эксплуатируемых на предприятиях других марок являются: повышенная окружная скорость камня, большая мощность главного двигателя, большая скорость рабочих цепей, мощная система sprысков. Это обеспечивает производительность дефибрера ДЦ-04-1 на 35-40% большую, чем дефибрера ДЦ-03 при одинаковой массе и занимаемой производственной площади.

**Кольцевые дефибреры** запатентованы в Америке в 1890 г., но значительное применение в промышленности нашли разработанные в 1939 г. дефибреры «Робертс» фирмы Тампелла. Несколько дефибреров этого типа было установлено позднее на предприятиях СССР, некоторые из них эксплуатируются до настоящего времени, в частности, на Енисейском ЦБК (г. Красноярск) (рис. 3).

Чугунный кожух установлен на стальных шинах и может перемещаться по ним в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном оси дефибрерного камня. Перемещение осуществляется с помощью болтов-домкратов по мере износа дефибрерного камня или при смене камня.

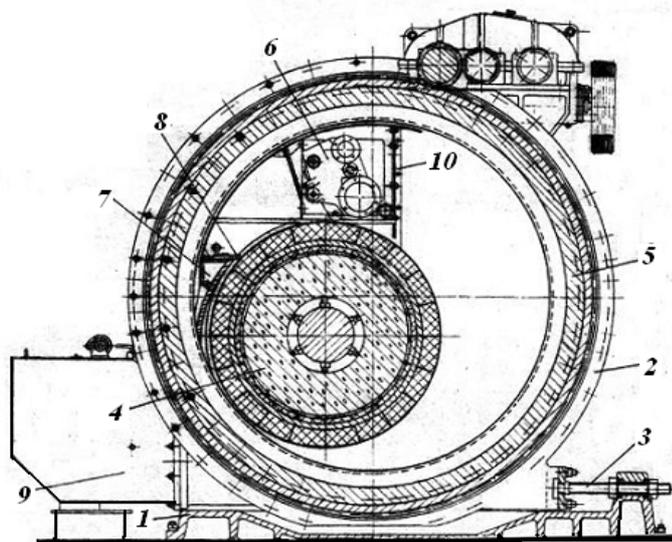


Рисунок 3 Схема устройства кольцевого дефибрера:

1 – фундаментная плита; 2 – корпус; 3 – винтовое устройство (домкраты); 4 – дефибрерный камень; 5 – подающее кольцо; 6 – ковочный аппарат; 7 – камера дополнительного истирания щепы; 8 – гребенка; 9 – ящик для сбора массы; 10 – стенка

Внутри кожуха размещено на опорных катках массивное стальное кольцо, которое при медленном вращении подает древесину к камню. Для захвата балансов внутренняя поверхность кольца сделана зубчатой. В стенках кольца имеются щели для выхода древесной массы в боковые каналы кожуха. Снаружи кольцо снабжено массивным стальным зубчатым ободом, сцепленным с червячной передачей. Этим устройством кольцо приводится во вращение. Уплотнение между вращающимся кольцом и неподвижным кожухом достигается бандажками.

Дефибрерный камень расположен эксцентрично внутри кольца. Подшипники вала смонтированы на специальных фундаментных основаниях, не связанных с кожухом дефибрера. Это позволяет регулировать зазор между поверхностью камня и внутренней поверхностью кольца путем перемещения кожуха. Ковочный аппарат расположен внутри кольца над камнем.

Балансы загружаются через специальный люк в пространство между быстро вращающимся камнем и медленно вращающимся в ту же сторону кольцом.

Основные технические характеристики дефибрера «Робертс»: диаметр камня 1700 мм; длина перерабатываемых балансов  $1235 \pm 15$  мм; рабочая частота вращения камня  $295 \text{ мин}^{-1}$ ; окружная скорость камня 26,3 м/с; мощность главного электродвигателя 2650 кВт; производительность по воздушно сухой древесной массе для газетной бумаги 35 т/сут.

#### 4.1 Дефибрирование под давлением (ДМД)

В 1977 г. фирма «Tampella» (Финляндия) разработала технологию дефибрерной древесной массы, получаемой при повышенном давлении (ДМД). В настоящее время способ получения ДМД внедрен более чем на 20 предприятиях Финляндии, Швеции, Германии, Австрии, Шотландии, Японии, США, Чили, ЮАР. В мировой целлюлозно-бумажной промышленности эксплуатируется более 100 дефибреров, изготавливающих ДМД. Объем производства ДМД составляет около 2,5 млн т в год.

В настоящее время известны следующие разновидности ДМД:

– собственно ДМД (PGW) — полуфабрикат, получаемый при дефибрировании балансов при температуре sprысковой воды 70–95 °С и давлении 0,25 МПа;

– ДМД 70 (PGW 70) — полуфабрикат, получаемый при температуре sprысковой воды 70 °С и давлении 0,25 МПа;

– ДМД 95 (PGW 95) — полуфабрикат, получаемый при температуре sprысковой воды 95 °С и давлении 0,25 МПа;

– ДМД-С (PGW-SUPER) — полуфабрикат, получаемый при дефибрировании балансов при температуре sprысковой воды 95–120 °С и давлении 0,45 МПа;

– ДМД-S 95 (PGW-S 95) — полуфабрикат, поручаемый при температуре sprысковой воды 95 °С и давлении 0,45 МПа;

– ДМД-S 120 (PGW-S 120) — полуфабрикат, поручаемый при температуре sprысковой воды 120 °С и давлении 0,45 МПа;

– ХДМД — химическая ДМД (CPGW) — полуфабрикат, поручаемый по режиму изготовления ДМД, но с добавлением химических реагентов со sprысковой водой при дефибрировании;

ХДМД-С (CPGW-S) — полуфабрикат, поручаемый по режиму изготовления ДМД-С, но с добавлением химических реагентов со sprысковой водой при дефибрировании.

Основными преимуществами установок по производству ДМД являются следующие: более высокие показатели механической прочности по сравне-

нию с ДДМ; малое отличие оптических и печатных свойств, а также выхода ДДМ и ДМД; значительно более низкий УРЭ при производстве ДМД, чем при производстве ТММ и ХТММ (при рекуперации тепла, образующегося при производстве ДМД, УРЭ может быть ниже, чем при производстве ДДМ); возможность использования в качестве сырья древесины осины; получение полуфабриката высокой белизны (76 % ISO и более) при отбелке ДМД в башне или при подаче отбеливающего реагента совместно со спрысковой водой при дефибрировании; возможность полностью автоматизировать процесс получения полуфабриката и сократить численность обслуживающего персонала.

Более высокая стоимость оборудования для производства ДМД по сравнению с ДДМ окупается за счет снижения содержания целлюлозы в композиции бумаги, повышения ее качества, увеличения срока эксплуатации оборудования и меньшего количества обслуживающего персонала.

Дефибрирование под давлением производится на двухпрессовом дефибрере, который отличается от традиционного дефибрера тем, что в камере дефибрирования создается давление до 0,3 МПа, имеет камеры выравнивания давления, систему выдувки массы из ванны и систему механического уплотнения. Корпус дефибрера выполнен из сварной листовой стали, части, соприкасающиеся с массой, выполнены из кислотоупорной стали. Такое исполнение приводит к значительному увеличению массы дефибрера и увеличению его стоимости. Основной проблемой при производстве ДДМД является сокращение срока службы камня до 1,0-1,5 года, в то время как при традиционном способе дефибрирования аналогичные камни работают 2,0-3,5 года.

За счет повышения температуры при дефибрировании под давлением происходит повышенная пластификация лигнина, в результате волокна отделяются более целыми, чем в обычном процессе дефибрирования, поэтому в массе ДДМД количество длинного волокна больше на 50 %. При этом за счет высокой степени фибрилляции волокна обладают повышенной способностью к сцеплению, в результате чего прочностные показатели массы ДДМД повышены по сравнению с обычной массой ДДМ (табл.10).

Таблица 10 Сравнение качественных показателей древесных масс

Показатели	ДДМ	ДДМД	Изменение показателей, %
Степень помола, °ШР	73,0	76,0	-
Количество длинных волокон, Макнетт 28 меш, %	14,9	25,4	+70
Индекс растяжения, Нм/г	38,3	44,3	+16
Индекс раздиранья, мН·м <sup>2</sup> /г	4,05	5,35	+32
Индекс продавливания, кПа·м <sup>2</sup> /г	1,91	2,56	+34
Белизна, %	64,2	61,2	-5

Процесс дефибрирования проводится на комплексной установке и состоит из следующих основных этапов:

1. Подготовленный пакет балансов поступает в камеру выравнивания давления. Камеры закрываются герметически с двух сторон заслонками и подключены к системе вентиляции для удаления пара сжатым воздухом и подъема воздушного давления до рабочего (0,25 МПа). Расход воздуха 20 м<sup>3</sup>/т массы.

2. Дефибрирование древесины под давлением 0,20-0,25 МПа при температуре 120-125 °С, при концентрации массы в ванне 1,5-2,0 % и температуре оборотной вода 95-98 °С. При этом давление в камере дефибрирования выше линии вскипания воды, что снижает испарение воды в клетках древесины, поступающих в зону дефибрирования и благоприятно отражается на качестве древесной массы и ее стабильности.

3. Из ванны дефибрера масса передвигается в молотковый измельчитель щепы, где щепы измельчаются до состояния мелких спичек.

4. После измельчителя масса проходит контрольный клапан выдувки и поступает в циклон для снятия давления. С помощью клапана выдувки поддерживается необходимый уровень массы в измельчителе щепы.

5. После циклона масса поступает в узел сортирования, где первой ступенью является отделение спичек - ступень 1А и тонкое сортирование - ступень Ш. Отсортированная масса поступает на дисковый сгуститель. Отходы сортирования от ступеней 1А и 1В подвергаются дополнительной обработке на сортировке ступени 2А, от которой сортированная масса возвращается вновь в поток сортирования, а отходы поступают на сгущение и размол, после чего сортируются в ступени 2В, очищаются в вихревых очистителях и хорошая масса объединяется в общий поток.

6. В качестве сгустителей применяются дисковые фильтры, обратная вода от которых возвращается на spryski дефибрера.

Повышенная прочность массы ДДМД позволяет снизить содержание целлюлозы в композиции бумаги, например полу блененной сульфатной целлюлозы:

в газетной бумаге с 18 % до 8 %; в суперкаландрированной бумаге с 25 % до 18 %; в тонкой бумаге для мелования с 45 % до 42 %.

Контрольные вопросы:

1. Классификация дефибреров и принцип их классификации?
2. Какие дефибреры относятся к аппаратам периодического действия?
3. Основные функциональные узлы дефибреров?
4. Принцип действия прессового дефибрера и его техническая характеристика?
5. Укажите разновидности ДМД и технологический режим их производства?

## 4.2 Дефибрерный камень

Дефибрерный камень - основной рабочий орган дефибрера. Состояние его поверхности решающим образом влияет на параметры дефибрирования - производительность, энергозатраты, свойства древесной массы.

Камень имеет цилиндрическую форму с отверстием в центре для стального вала. В первых дефибрерах использовались камни, высеченные из цельной глыбы природного песчаника.

Современное производство предъявляет жесткие требования к свойствам дефибрерных камней. Они должны обладать высокой механической прочностью, стойкостью к температурным колебаниям, однородностью структуры всего рабочего слоя, высокой твердостью и прочностью и т. д. Сейчас производятся искусственные дефибрерные камни, удовлетворяющие всем требованиям прочности:

1. Кварцево-цементные;
2. Электрокорундовые на цементной основе;
3. Керамические.

**Кварцево-цементный** камень представляет собой бетонный монолит, в котором различают сердечник и рабочий слой.

Сердечник (центральная часть) камня железобетонный. Он состоит из портландцемента марки 500-600 и кварцевого песка с размером зерен от 3 до 5 мм, с добавлением до 15 % более мелкого песка. Поскольку при вращении камня на него действует значительная центробежная сила, сердечник укрепляют кольцевой стальной арматурой. Толщина рабочего слоя 120-150 мм.

Абразивным материалом слоя служит кварцевый песок, связующим - портланд-цемент 500-600. Зерна кварцевого песка должны иметь угловатую форму с "обкатанными" вершинами. Так как в природе песок с требуемыми свойствами встречается довольно редко, иногда абразивный материал получают дроблением песчаника подходящего качества с последующим просеиванием и фракционированием частиц.

В процессе эксплуатации поверхность дефибрерного камня стачивается, толщина рабочего слоя уменьшается.

Срок службы кварцево-цементных камней зависит от конкретных условий работы - породы древесины, вида древесной массы, температуры и т. п. - и составляет в среднем 6 месяцев.

**Электрокорундовый** камень на цементной основе по устройству аналогичен кварцево-цементному, но песок в рабочем слое заменен искусственным абразивом, обычно электрокорундом, что продлевает срок службы до 1 года..

**Керамический** дефибрерный камень, по своей конструкции такой же как и другие камни, состоит из сердечника и рабочего слоя (рис. 4).

Рабочий слой камня не монолитный, а набран из керамических сегментов.

Для изготовления сегментов применяют абразивные материалы природного происхождения -корунд, так и искусственные – электрокорунд и карборун.

Абразивные свойства корунда и электрокорунда зависят от доли в них кристаллического оксида алюминия  $Al_2O_3$ . В лучших сортах природного корунда доля оксида алюминия составляет 80 - 95 %.

Электрокорунд бывает: белый (с содержанием кристаллического оксида алюминия 98-99,5 %), розовый (96-97 %  $Al_2O_3$ ), нормальный (91-95 %  $Al_2O_3$ ) и черный (искусственный наждак, 75-85 % АДОЗ).

Карборунд (карбид кремния), применяемый при изготовлении сегментов дефибрерных камней, бывает двух основных видов: зеленый (доля  $SiC$  не менее 97 %) и черный (доля  $SiC$  не менее 95 %).

Твердость электрокорунда и карборунда значительно выше твердости кварцевого песка.

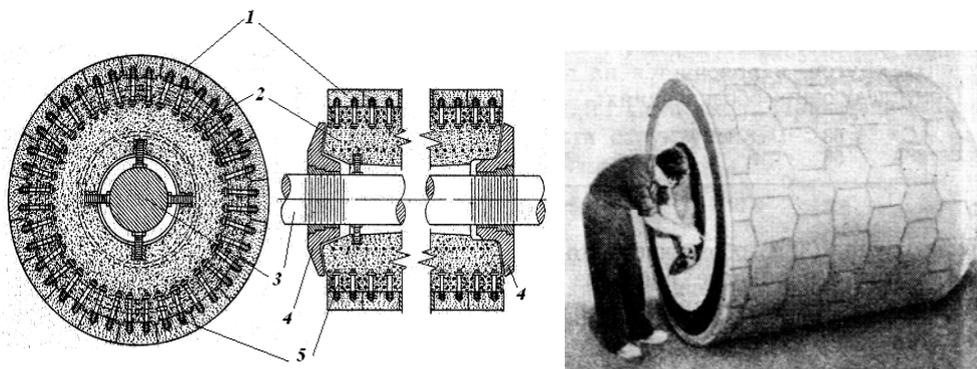


Рис.4 Внешний вид и устройство керамического дефибрерного камня и его крепление к валу дефибрера:

1 – рабочий слой из керамических плит (сегментов); 2 – железобетонный сердечник (регулярно расположенные черные точки на правой части рисунка – стальная арматура); 3 – стальной вал; 4 – крепежные шайбы; 5 – болты для крепления сегментов

Для изготовления керамических сегментов применяется абразивный материал природного происхождения - корунд, а также искусственные: кристаллон или карборунд (карбид кремния) и электрокорунд (алунд).

Кристаллон имеет зерно с более острыми гранями и более крупнее, чем корунд, в связи с чем его применение для керамических сегментов менее распространено. Электрокорунд (алунд) дает зерна удовлетворительного качества. Фирмы "Нортон" и "Карборунд" используют для сегментов электрокорунд нормальный. В отечественных керамических камнях используется электрокорунд белый и нормальный. Белый электрокорунд дает более прочную рабочую поверхность по сравнению с электрокорундом нормальным. При изготовлении сегментов применяется специальная боросодержащая связка.

Для наиболее широко применяемого размера камня 8-37-46 требуется 48 сегментов пятиугольной формы для двух торцевых рядов и 96 сегментов шестиугольной формы для четырех средних рядов.

Твердость керамических сегментов зависит от свойств связки, применяемой при изготовлении и спекании сегментов. Твердость отечественных камней составляет обычно СТ1-СТ2, иностранные фирмы твердость обозначают соответствующей буквой в марке камня.

Керамические сегменты имеют повышенную пористость, что достигается добавкой опилок в смесь связки, которые затем выгорают при спекании сегментов. Наличие пор обеспечивает более открытую структуру зерен, при насечке поверхности и выкрашивании связки большая поверхность зерен может участвовать в работе.

Сегменты формуют под давлением в пресс-формах и обжигают. При этом цементирующая связка превращается в стекловидную массу, обволакивающую зерна абразива. Форма сегментов, образующих основную площадь рабочей поверхности, шестиугольная; два пояса по краям рабочей поверхности набираются из сегментов пятиугольной формы.

Толщина рабочего слоя керамического камня 65-75 мм. На стороне, обращенной к камню, каждый сегмент имеет несколько несквозных отверстий. В отверстия закладываются и закрепляются специальным раствором концы стальных штырей. Выступающие противоположные концы этих штырей бетонируются в сердечнике в процессе изготовления камня.

Пространство между сегментами для компенсации температурных деформаций заполняется мастикой, содержащей зерна абразивного материала. Твердость мастики подбирается таким образом, чтобы износ заполнения в процессе дефибрирования был одинаков с износом сегментов.

Средний срок службы керамических камней около двух лет - в этом одно из основных преимуществ их перед другими типами дефибрерных камней.

Промышленность выпускает дефибрерные камни с разными характеристиками, что позволяет каждому предприятию подобрать камень с оптимальными свойствами применительно к своим конкретным условиям производства.

Наиболее важными характеристиками являются:

- твердость рабочего слоя;
- гранулометрический состав абразивного материала.

**Твердость рабочего слоя** зависит от твердости не абразивного материала, а связующего. В России принята следующая шкала твердости дефибрерных камней (в скобках - обозначения твердости): мягкие (от  $M_1$  до  $M_3$ , средней мягкости ( $CM_1$ - $CM_2$ )); средние ( $C_1$ - $C_2$ ); средней твердости ( $CT_1$ - $CT_2$ ); твердые ( $T_1$  -  $T_2$ ); весьма твердые ( $BT_1$  -  $BT_2$ ); чрезвычайно твердые ( $CT_1$  -  $CT_2$ ). Наиболее употребительны камни от средней мягкости до средней твердости.

**Гранулометрический состав** абразивного материала в рабочем слое задается фракционированием зерен абразива при изготовлении камня. Для фракционирования применяют сита восьми номеров с отверстиями от 0,17 - 2 мм. В состав рабочего слоя включают абразивный материал разных (четырёх - пяти смежных) фракций, в соответствии с необходимым гранулометрическим составом. Средняя зернистость камня вычисляется по формуле:

Техническими условиями предусмотрен выпуск дефибрерных камней средней зернистостью от 0,25 до 1,2 мм. При этом рабочие слои одной и той же средней зернистости могут быть изготовлены с разными соями фракций (с разными формами кривых гранулометрического определения).

Зерна абразива имеют острые ребра, способные перерезать волокна древесины при дефибрировании. Потому перед применением абразивный материал подвергают обкатке для небольшого сглаживания острых выступов.

Для дефибреров разных типов выпускаются камни различных размеров и марок (табл. 11). Марка характеризует габаритные размеры, тип и зернистость камня и состоит из комбинации цифр и букв, разделенных дефисом.

Буквы обозначают тип камня: Н – кварцевоцементный; Э - электрокорундовый; К - керамический. Числа перед буквой указывают основные размеры камня (в миллиметрах, без первой единицы и последних нулей). Число

после буквы равно зернистости (в миллиметрах), умноженной на сто. Например, марка 8-37-46-П-40 расшифровывается так: камень кварцевоцементный, диаметр 1800 мм, рабочая ширина 1370 мм, габаритная ширина 1460 мм, средняя зернистость 0,40 мм.

Табл.11 Типовые дефибрерные камни

Марка камня	Диаметр камня, мм	Ширина рабочей поверхности, мм	Наибольшая ширина под шайбу, мм	Внутренний диаметр центрирующего кольца, мм
8-37-46-0-00	1800	1370	1460	780
7-37-46-0-00	1700	1370	1460	720
6-40-40-0-00	1600	1400	1400	660
5-37-40-0-00	1500	1370	1400	640
5-24-33-0-00	1500	1240	1330	640
5-15-15-0-00	1500	1150	1150	640
5-8-8-0-00	1500	880	880	640
5-6-6-0-00	1500	600	600	-
4-5-5-0-00	1400	580	580	-

#### Контрольные вопросы

1. Разновидности дефибрерных камней?
2. Толщина рабочего слоя для кварцево-цементных дефибрерных камней?
3. На что влияет состояние поверхности дефибрерного камня?
4. Укажите характеристики дефибрерного камня?
5. Расшифруйте марку дефибрерного камня 8-37-46-П-40?

### 4.3 Обработка поверхности камня

В процессе эксплуатации дефибрерного камня его поверхность изменяется. Абразивные зерна притупляются, выкрашиваются. Поверхность камня засмаливается, забивается мелким волокном, становится гладкой. В результате этого снижается производительность дефибрера, растет удельный расход энергии, изменяется качество получаемой древесной массы -она становится более жирной.

Для восстановления свойств поверхности камня предназначена операция, называемая насечкой или ковкой. С помощью насечки формируется структура поверхности, оптимальная для выработки древесной массы заданного качества. Устройством для насечки является ковочный аппарат, входящий в комплект дефибрера.

Ковочный аппарат (рис. 5) представляет собой суппорт, перемещающийся строго параллельно поверхности дефибрерного камня по направляющим. Движение суппорта осуществляется с помощью гидропривода или электродвигателя. В корпусе суппорта смонтирован ползун, способный перемещаться в направлении, перпендикулярном движению суппорта. Ползун можно приближать к поверхности камня или удалять от нее. Для ручного выполнения этой операции предусмотрен винтовой механизм с маховиком. В проушине ползуна шарнирно закреплен на валу (пальце) главный элемент ковочного аппарата - шарошка.

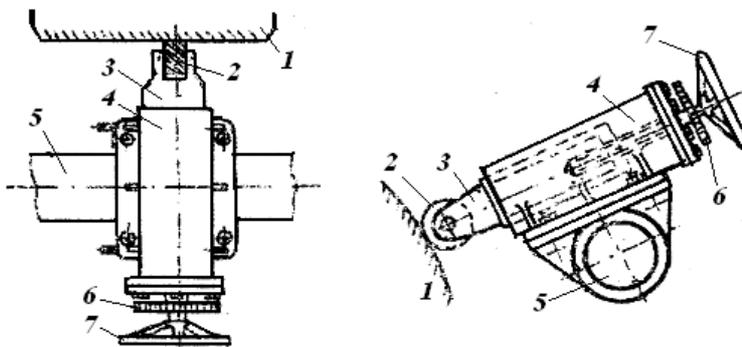


Рис. 5 Схема устройства ковочного аппарата:

1 – дефибрерный камень; 2 – шарошка; 3 – ползун; 4 – суппорт; 5 – направляющая; 6 – зубчатая передача ограничителя хода ползуна; 7 – маховик винтового механизма перемещения ползуна

Шарошка представляет собой небольшой стальной цилиндр с отверстием для пропуска пальца. Обычные размеры шарошки: диаметр около 125 мм, длина 60 мм. На наружной цилиндрической поверхности шарошки име-

ются выступы, которые наносят определенный рельеф на рабочую поверхность дефибрерного камня.

В зависимости от формы выступов различают шарошки: пирамидальные; спиральные.

У пирамидальных шарошек выступы имеют форму пирамиды с квадратным основанием. Главное назначение этих шарошек - выравнивание поверхности камня.

Размеры выступов и расстояния между ними характеризуются номерами. Номер шарошки равен числу выступов, приходящихся на один дюйм (25,4 мм) длины по окружности. Выбор шарошки зависит от условий производства и вида вырабатываемой древесной массы. Например, выработке полуфабриката для газетной бумаги используют шарошки с размером 8 или 10.

Перед насечкой снижают нагрузку дефибрера и камень "тупят" для его поверхности, сглаживания острых вернут и граней расшатанных зерен. Тупку производят куском изношенного дефибрерного камня, прикрепленного к металлическому стержню и перемещаемого с помощью суппорта ковочного аппарата.

Для выполнения насечки установленная в ковочном аппарате шарошка прижимается к вращающемуся дефибрерному камню и также начинает быстро вращаться. Одновременно суппорт перемещается вдоль абразивного камня. При этом на поверхности камня создается рельеф, соответствует профилю выступов шарошки. Скорость движения суппорта обеспечить перемещение шарошки на 75 % ее длины за один дефибрерного камня. Насечка производится за один проход суппорта и всегда в одном направлении, указанном стрелкой на корпусе дефибрера. Глубина внедрения шарошки в камень устанавливается по специальному указателю на ковочном аппарате, обычно она бывает в пределах от 0,2 до 0,4 мм, опытные дефибрерщики устанавливают глубину насечки "на слух" - по интенсивности издаваемого характерного звука.

Периодичность насечки составляет для кварцево-цементных камней 8-24 час, для керамических камней - 5-8 суток и реже. Качество массы в период между насечками не остается постоянным. Сразу после насечки идет неразработанная грубая и садкая масса. По мере затупления камня качество массы улучшается и стабилизируется. В конечной стадии цикла падает производительность дефибрера, в массе появляется много мелочи, возрастает жирность; возникает необходимость в новой насечке. Таким образом, период

работы между двумя последовательными насечками можно условно разбить на три стадии:

- кондиционирование поверхности камня;
- нормальная работа в "штатном" режиме;
- затупление поверхности камня.

Для сокращения продолжительности первой из названных стадий иногда сразу после насечки применяют легкую тупку камня. При этом сглаживаются острые режущие кромки зерен абразивного материала, вызывающие образование грубой массы.

Чтобы свести к минимуму колебания качества вырабатываемой заводом древесной массы, ковка камней дефибреров, работающих в одном потоке, должна по возможности равномерно распределяться по времени.

Перед насечкой нового камня необходимо тщательно выровнять его поверхность. Для этой цели используют пирамидальную шарошку. Ковочный аппарат при этом работает в режиме возвратно-поступательного движения. Затем производят насечку спиральной шарошкой за один проход ковочного аппарата.

Таблица 11 Характеристика спиральных шарошек и их применение

Номер шарошки	Число зубьев	Диаметр шарошки	Применение для выработки массы
4	60	121,3	
8	92	123,9	Грубая масса
9	92	123,3	
10	123	123,0	Средней тонкости
11	123	123,0	
12	152	122,9	
14	152	122,9	Тончайшей

#### **4.4 Транспортировка, хранение и ввод в эксплуатацию дефибрерных камней**

Операции хранения готовых дефибрерных камней и их доставки потребителям имеют свои специфические особенности.

Дефибрерные камни весьма чувствительны к внешним воздействиям. Неправильная транспортировка и хранение заметно ухудшает их состояние и сокращает срок эксплуатации. Особенно бережного обращения требуют ке-

рамические камни, так как они более хрупкие. Общие правила перевозки и хранения камней разных типов одни и те же

Гидратация цемента в теле камня - медленный процесс, от полноты и условий его протекания зависит твердость и прочность камня. Продолжительность выдержки камней во влажной среде (при относительной влажности воздуха не ниже 80 %) после их изготовления должна составлять 9-12 месяцев, но и после этого гидратация за счет остаточной влаги еще продолжается в течение длительного периода. Поэтому при транспортировке потребителю и последующем хранении следует создавать условия, благоприятные для завершения этого процесса.

Чтобы избежать высыхания при транспортировке, дефибрерные камни на заводе-изготовителе тщательно упаковывают в 2-4 слоя плотной бумаги и обшивают досками. Перевозят камни в закрытых железнодорожных вагонах, предохраняя от воздействия ветра, дождя, прямых солнечных лучей, и только в теплое время года (с мая по сентябрь). Совершенно недопустимо хранение и транспортирование дефибрерных камней при температуре 0 °С и ниже, так как замерзание остаточной влаги приводит к появлению трещин.

При проведении такелажных работ (при погрузке, выгрузке, перемещении по территории завода, установке в дефибрер) принимают специальные меры, исключающие повреждение камней; их нельзя сбрасывать, опрокидывать, кантовать. При подъеме между стропами и камнем прокладывают мягкий материал. Особенно следует оберегать края рабочей поверхности, наиболее уязвимые для скалывания.

Хранят камни в закрытых складах при температуре от 4-5 °С до 18-ти при относительной влажности воздуха 80-90 %. Резкие колебания температуры и влажности не допускаются. Нельзя хранить камни вблизи источников выделения тепла.

На дефибреры мощностью более 1500 кВт рекомендуется устанавливать камни только после двух- или трехлетней выдержки их на складе.

### **Ввод камня в эксплуатацию**

Дефибрерные камни очень чувствительны к изменению температуры. Большие размеры камня и низкая теплопроводность бетона способствует тому, что при изменении температуры окружающей среды внутри возникает значительный температурный градиент. Это, в свою очередь приводит к неравномерному тепловому расширению и появлению напряжений в бетоне. В результате возможно образование трещин, камень становится не-

пригодным для использования. Поэтому правильный ввод дефибрерного камня в эксплуатацию чрезвычайно важен.

Новый камень, хранившийся на складе, перед установкой в дефибрер должен не менее двух суток равномерно смачиваться водой. Для ускорения ввода рекомендуется прогреть камень в ванне с водой. Начальная температура воды должна быть такой же, как температура помещения, в которой хранился камень. Воду следует медленно нагревать со скоростью час для цементных камней и 1-1,5 °С в час для керамических камней. Прогрев продолжается до достижения рабочей температуры, с которой на спрыски дефибрера подается обратная вода. Прогретый камень тщательно обернуть бумагой и в таком виде доставить для установки в дефибрер. Ввод установленного камня в рабочий режим также ведется пленно, по особому графику, в точном соответствии с инструкцией.

Если камень предварительно не прогревался, на спрыски дефибрера следует подавать воду с температурой, при которой камень хранился на складе. Нагрузку дефибрера и температуру спрысковой воды следует медленно повышать в течение не менее 5 суток.

Перед началом производственной эксплуатации необходимо осуществить подготовку поверхности камня, как описано в конце следующего подраздела.

#### **4.5 Факторы, влияющие на процесс дефибрирования**

Наиболее существенные влияние на процесс дефибрирования и качество получаемой древесной массы оказывают следующие технологические факторы:

- природа и качество древесины;
- влажность древесины;
- окружная скорость дефибрерного камня;
- удельное давление на поверхность камня;
- качество рабочей поверхности камня;
- температура и концентрация массы;
- глубина погружения камня в волокнистую суспензию.
- расход энергии
- производительность.

## **Порода и качество древесного сырья**

Желательно, чтобы древесина была белой, мягкой (низкой плотности) и обладала длинными волокнами. Плотность древесины оказывает существенное влияние на качество древесной массы. Древесная масса вырабатываемая из более плотной древесины, обладает низкой прочностью и белизной. Между плотностью древесины и выходом массы существует прямолинейная зависимость.

Еловая древесина является обычным сырьем для производства, из нее вырабатывается древесная масса наилучшего качества. Пихтовый баланс при одинаковом с елью режиме дефибрирования дает древесную массу с пониженными показателями степени помола и прочности. Для его эффективной переработки следует увеличивать удельное давление на камень.

Сосновый баланс содержит повышенное количество смолистых веществ, способных вызвать "смоляные затруднения" в виде отложений на поверхностях технологического оборудования.

**Влажность древесины** относится к важным факторам. Наиболее влажной для дефибрирования считается древесина с влажностью не ниже критической точки насыщения клеточных стенок (обычно не менее 30 -40, лучше всего - с влажностью 40 - 42 %.

Если, в зимний период предприятие перерабатывает выдержанный на бирже баланс с влажностью 38 -40%, а в весенне-летний период переходит на переработку свежесрубленной сплавной древесины с влажностью 48 - 53 %, для сохранения высокого качества древесной массы приходится менять режим дефибрирования, древесина летней поставки более пластифицирована, легче дефибрируется, однако при этом образуется древесная масса с большим количеством грубых неразработанных волокон и их пучков.

Улучшить качество продукции в этом случае можно одним из следующих способов:

- уменьшить подачу древесины;
- изменить зернистость и глубину насечки камня.

**При уменьшении величины подачи** древесины к дефибрерному камню (т.е. при снижении силы прижима древесины к камню) получается более тонкая, лучше разработанная древесная масса, но при этом падает на 12 % производительность дефибрера и пропорционально увеличивается удельный расход энергии, поэтому такой способ регулирования качества нельзя считать оптимальным.

**Изменение зернистости и насечки камня** дает возможность сохранить качество древесной массы в весенне-летний период без снижения производительности. Для этого: используют дефибрерные камни несколько меньшей средней зернистости; для насечки камня применяют спиральные шарошки повышенных номеров (например, № 9 или 10 вместо шарошки № 8); уменьшают глубину насечки камня на 0,1-0,2 мм по сравнению с глубиной, насечки в осенне-зимний период; несколько повышают удельное давление древесины на камень (для сохранения производительности).

Для дефибрирования влажного баланса одинаково пригодны как кварцево-цементные, так и керамические камни. При переработке баланса с влажностью ниже 25 - 30 %: - предпочтение отдают кварцево-цементным камням с более крупной средней зернистостью; для насечки применяют шарошки меньших номеров; снижают нагрузку на дефибрер.

**Окружная скорость дефибрерного камня** (скорость движения поверхности камня относительно древесины) оказывает влияние как на производительность дефибрера, так и на качество древесной массы. У дефибреров производительностью 40-45 т/сут с погруженной в массу нижней частью камня окружная скорость должна быть не ниже 23,5 м/с (780-1050 м/мин).

Производительность и расход мощности прямо пропорциональны окружной скорости камня.

Вращение камня осуществляется с постоянной частотой от синхронного электродвигателя, поэтому окружная скорость медленно снижается по мере срабатывания камня и уменьшения его диаметра, а при замене старого камня на новый - возрастает скачком. Нетрудно подсчитать, например, что при диаметре нового камня 1800 мм и частоте вращения 240 мин<sup>-1</sup> окружная скорость равна 22,6 м/с, а при уменьшении диаметра до 1500 мм и той же частоте вращения окружная скорость снижается до 18,8 м/с.

Естественно, что снижение окружной скорости при прочих (неизменных условиях) ведет к падению производительности дефибрера. Для поддержания производительности на постоянном уровне по мере износа камня рекомендуют: увеличивать нагрузку на камень путем повышения удельного давления древесины; углублять насечку камня.

Оба способа регулирования производительности приводят к некоторому изменению качества древесной массы: уменьшается доля мелкой фракции и жирность, увеличивается доля крупной фракции. На практике необходимо находить разумный компромисс между производительностью и качеством.

**Удельное давление древесины на поверхность дефибрерного камня** в современных дефибрерах достигает величины 360 *кПа*. Удельное давление, нагрузка на электродвигатель и скорость подачи балансов (производительность) взаимосвязаны. С увеличением удельного давления повышается нагрузка, растет производительность дефибрера, повышается расход мощности. При этом доля мелкого разработанного волокна уменьшается, а грубого - возрастает; снижается степень помола древесной массы и прочность на разрыв.

Отрицательные последствия повышения давления могут быть до некоторой степени компенсированы правильной корректировкой насечки камня - увеличением номера шарошки и снижением глубины насечки.

**Качество рабочей поверхности камня** характеризуется формой и размером абразивных зерен, твердостью материала камня и характером насечки. Крупнозернистые твердые камни при прочих равных условиях дают более тощую массу, чем средне- и мелкозернистые. Камни с меньшей зернистостью применяют для выработки массы с высокой степенью помола.

**Температура и концентрация массы** взаимосвязаны с температурой в зоне дефибрирования. Основным источником тепла является трение при дефибрировании, а переносчиком тепла - обратная вода. Следовательно, температура дефибрирования зависит от количества воды, циркулирующей в технологическом потоке.

Повышение температуры (при постоянной концентрации массы) повышает производительность, снижает расход энергии, увеличивает степень помола и прочность массы.

Концентрация массы в ванне обычно поддерживается 3-4% иногда до 8-9%. Повышение концентрации массы в ванне за пределы 4% приводит к повышению расхода энергии дефибрирования и к понижению производительности.

Можно выделить три способа дефибрирования, различающихся температурой и концентрацией массы в дефибрере

- холодное дефибрирование;
- горячее густое дефибрирование;
- горячее жидкое дефибрирование.

**При холодном дефибрировании** температура массы в ванне дефибрера составляет 35-40 °С, концентрация массы 3,5-4 %, температура обратной воды не превышает 30 °С. Этот способ использовали в производстве древесной массы (т.е. при дефибрировании предварительно пропаренных

балансов). В настоящее время холодное дефибрирование не используется из-за низкого качества вырабатываемой древесной массы и повышенных энергозатрат.

**При горячем густом дефибрировании** температура массы в ванне 70-75 °С, концентрация более 2,5 %, температура оборотной воды 55-65 °С. Это позволяет поддерживать температуру в истираемом веществе древесины на уровне 130 °С. Густое дефибрирование требует эффективной работы sprays, смывающих волокно с поверхности камня. Несоблюдение этого условия приводит к уносу неоправданно большого количества волокна из ванны в зону дефибрирования, его излишнему перемазыванию, увеличению удельного расхода энергии без заметного положительного эффекта.

**Горячее жидкое дефибрирование** при концентрации массы в ванне 1,5% дает наилучшие результаты по качеству древесной массы и энергии. Температура в ванне и в зоне дефибрирования и температура оборотной воды при этом способе такие же, как при горячем густом дефибрировании. Если собственного тепла не хватает для поддержания температуры на необходимом уровне, целесообразнее не снижать расход воды, а дополнительно подогревать её за счет внешних источников.

Существует ошибочное мнение, что жидкое дефибрирование позволяет вырабатывать высококачественную древесную массу из сухой древесины. На самом деле, времени нахождения древесины в зоне смачивания недостаточно для проникновения воды в клеточные стенки и сколько-нибудь ощутимой пластификации.

**Глубина погружения камня** в волокнистую суспензию оказывает влияние на количество массы, уносимой из ванны в зону дефибрирования: чем глубже погружен камень, тем больше воды и волокна увлекается его поверхностью.

Рециркуляция волокон в зоне дефибрирования в разумных количествах полезна - она повышает их фибриллированность и эластичность, улучшает свойства древесной массы.

При излишне большом уносе проявляются отрицательные последствия:

- падает температура в зоне дефибрирования из-за большого количества вносимой воды;
- качество древесной массы ухудшается из-за чрезмерного перемола и нарушения температурного режима;

- снижается производительность дефибрера;
- растет удельный расход энергии как из-за снижения выработки, так и из-за дополнительного сопротивления движению камня со стороны волокнистой массы.

На практике глубина погружения подбирается экспериментально в зависимости от конкретных условий, сложившихся на предприятии. Считается, что при этом необходимо обеспечить оптимальную концентрацию массы в зоне дефибрирования 8-10 %. Важная роль отводится нормальной работе sprays. Для эффективной очистки поверхности камня от волокна давление воды в sprays должно быть не менее 250 *кПа*.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего нужен узел насечки дефибрерного камня?
2. Характеристика спиральных шарошек и их применение?
3. Как вводят дефибрерный камень в эксплуатацию?
4. Как влияет окружная скорость дефибрерного камня на качество древесной массы?
5. Технологический режим при производстве древесной массы горячим жидким и горячим густым дефибрированием?

## 5. Развитие технологии производства древесной массы из щепы

Древесная масса является одним из волокнистых полуфабрикатов, который используется для производства бумаги и картона.

Достоинствами технологий производства древесной массы улучшающих ее бумагообразующие свойства и расширяющих ее применения являются:

- высокий выход из древесины (85–96%);
- получение высококачественного полуфабриката как из хвойных (ель, пихта), так и лиственных (осина, береза) пород древесины;
- возможность и целесообразность использования в качестве древесного сырья технологической щепы из отходов лесопиления;
- гибкость технологического процесса, позволяющая получать полуфабрикат с различными бумагообразующими свойствами на одном и том же оборудовании из разных пород древесины;
- расширение использования бессернистых реагентов при производстве полуфабрикатов из лиственных пород древесины;
- применение в качестве отбеливающих реагентов пероксида водорода и/или дитионита натрия при полном исключении хлорсодержащих реагентов;
- отсутствие газовых выбросов в атмосферу;
- создание замкнутых циклов водопользования;
- возможность получения в виде товарного полуфабриката;
- снижение содержания целлюлозы в композиции бумаги при замене дефибрерной древесной массы (ДДМ) на МДМ из щепы (ТММ или ХТММ);
- возможность производства бумаги для печати, в первую очередь газетной, из монокомпозиции (из 100% ТММ или ХТММ);
- значительно больше циклов рециркуляции данных полуфабрикатов по сравнению с целлюлозой;
- строительство высококорентабельных предприятий по производству МДМ из щепы малой производительности (75–100 т/сутки);
- относительно низкие капитальные затраты и значительно более короткий срок строительства предприятий по производству МДМ в сравнении с сульфат-целлюлозными заводами.

В настоящее время изготовителями и поставщиками оборудования комплексных технологических линий по производству современных видов, ТММ и ХТММ являются 2 фирмы – Andritz (Австрия) и Metso Paper (Финляндия). Компания Andritz присоединила к себе фирмы Sprout, Bauer, Нумас,

Kverner. Компания Metso Paper создана в результате объединения фирм Sunds Defibrator, Tampella и Valmet.

В последние годы при строительстве и реконструкции предприятий, производящих современные виды МДМ из щепы – ТММ/ХТММ, все чаще применяется технология и оборудование фирмы Andritz:

К новейшим разработкам фирмы Andritz относятся:

- создание высокоинтенсивной механической переработки (размола) древесных волокон путем сочетания повышенной скорости вращения дисков на обеих ступенях размола с использованием новых «рисунков» гарнитуры дисков рафинеров;
- внедрение системы предварительной трехступенчатой обработки щепы перед размолом;
- способ прямой выдувки массы из рафинера 1-ой ступени в рафинер 2-ой ступени размола с целью повышения давления в рафинере 2-ой ступени;
- создание аппарата, объединяющего дисковую мельницу и импрессфайнер (концепция RTFiberizer), который является последней разработкой в области размалывающего оборудования;
- эффективная трехступенчатая система отбели МДМ «Пероксид – пероксид – дитионит», позволяющая получить полуфабрикат максимальной белизны (~ 85% ISO);
- процесс производства МДМ щелочно-пероксидным способом (P – RC APMP), включающий обработку щепы до высокой степени сжатия, за которым следуют пропитка пероксидом водорода и размол в дисковой мельнице, которая используется как смеситель. Отбели МДМ производится в башне при высокой концентрации.

Фирма Andritz усовершенствовала технологии ТММ-RTS за счет дополнительной ступени предварительной пропарки щепы – метод PT-RTS – и предложила дальнейшее сокращение УРЭ на производство ТММ при применении принципа RTS на второй ступени механической обработки (размола) древесных волокон – метод RTS-2.

Особенностью технологии Thermopulp™ является повышение температуры до 170°C и давления до 700 кПа перед 2-ой ступенью механической переработки (размола) древесных волокон. Экономия энергии при использовании данной технологии составляет 10–20%. Технология Thermopulp™ может быть использована при переработке отходов сортирования МДМ.

Фирма Metso Paper поставила на ОАО «Светогорск» оборудование для производства 500 тонн в сутки беленой ХТММ из хвойной (ели) или лист-

венной (осины) древесины. Беленая ХТММ будет производиться в товарном виде после аэрофонтанной сушки. Имеются примеры, когда при выборе оборудования для предприятий по производству МДМ используются наиболее прогрессивное и эффективное оборудование обеих фирм.

Фирма Metso Paper разработала конструкцию и внедрила в производство рафинер типа R6P82CD с плоско-конической зоной размола, производительностью до 770 т/сутки ТММ для газетной бумаги и мощностью двигателя до 32 МВт, а также создала и внедрила новую конструкцию сегментов гарнитуры размалывающих дисков, снижающих УРЭ в процессе механической переработки древесного сырья.

Проводится постоянная работа по совершенствованию «рисунка» гарнитуры для повышения эффективности механической переработки. Применение новых материалов увеличивает срок эксплуатации гарнитуры дисков рафинеров.

Увеличивается количество установок по производству МДМ, в которых механическая переработка (размол) осуществляется при низкой концентрации массы:

- при размоле отходов сортирования;
- на третьей ступени размола;
- при дополнительном («доводочном») размоле перед бумагоделательной машиной.

При сортировании МДМ стали широко использоваться напорные сортировки с шлицевыми ситами.

Последним достижением в области сортирования является конструирование так называемых барьерных сортировок с очень узкими шлицами и высокой интенсивностью вращения ротора, использование которых значительно улучшает бумагообразующие свойства МДМ.

Совершенствование техники сортирования способствовало получению МДМ с высокими бумагообразующими свойствами и на ее основе бумажно-картонной продукции с улучшенными характеристиками. Кроме того, это дало возможность повысить долю МДМ в композиции высококачественной бумаги для печати.

Фракционирование МДМ после 1-ой ступени размола позволяет отделить грубую длиноволокнистую фракцию и дополнительно подвергнуть ее механической переработке – размолу. Другая часть МДМ после 1-ой ступени размола уже обладает определенными бумагообразующими свойствами; нет необходимости ее дополнительно размалывать, и она может быть использо-

вана в производстве бумаги. Очевидно, что размолу подвергается не вся МДМ, это дает значительное снижение УРЭ на ее производство.

Для повышения качества МДМ может осуществляться многоступенчатое фракционирование основного потока после двух ступеней размола; при этом также может выделяться длинноволокнистая фракция, которая дополнительно размалывается.

В последние годы наметилась тенденция исключения вихревых очистителей из технологического потока производства ТММ в связи с высокими эксплуатационными расходами и недостаточной производительностью систем очистки в условиях расширения производства. В то же время качество очистки массы значительно улучшилось при применении сортировок с узкоцелевыми ситами. При расширении производства для сокращения затрат вместо вихревых очистителей устанавливают дополнительные сортировки и оборудование для сгущения массы.

Основным показателем, определяющим конкурентоспособность бумаги для печати, содержащей МДМ, является ее белизна. Наиболее распространенным способом повышения белизны бумаги для печати является отбелка МДМ пероксидом водорода и/или дитионитом натрия. Для повышения белизны бумаги для печати с МДМ могут быть использованы минеральные наполнители, отличающиеся высокой белизной и коэффициентом светорассеяния, в первую очередь карбонат кальция, при этом необходимо поддерживать величину рН при производстве бумаги как можно ближе к нейтральному значению. Достижение белизны МДМ 80–85% ISO позволяет печатным видам бумаги на основе МДМ успешно конкурировать с мелованной и немелованной «чистоцеллюлозной» бумагой.

Развитие технологий производства древесных масс, а так же внедрение высокоэффективного оборудования для размола, сортирования и очистки позволяют МДМ конкурировать с целлюлозой в качестве волокнистого полуфабриката в производстве бумаги и картона.

## **6. Технология химико-механической массы**

Различные ПФВВ полученные с использованием химических реагентов объединяются в химико-механические виды древесной массы и к ним относятся: ХТММ, ТХММ, ХММ др.

Производство ХТММ является наиболее современным процессом получения механической массы. Этому благоприятствует более высокая белизна и способность к отбелке по сравнению с другими полуфабрикатами.

ХТММ отличается от производства ТММ в наличие устройства для обработки химическими реагентами в импрегнаторе «PREX»

При производстве ХММ химико-термомеханическая обработка является по существу, «суперскоростной варкой». ХММ по выходу и показателям механической прочности занимает промежуточное положение между ХТММ и полуцеллюлозой.

Отличие режима производства ХММ от ХТММ заключается в использовании большого количества химических реагентов (до 15 – 20% массы а.с.в.), более высокой температурой (до 130 – 160<sup>0</sup>), а также большей продолжительностью (до 60 мин).

Производство химико-механической массы включает следующие процессы:

- промывку щепы,
- предварительную обработку
- механическая обработка щепы ( размол в 1 или 2 ступени)
- Сортирование, переработка отходов, если необходима очистка,
- Отбелка, при получении беленых древесных масс
- Сгущение, хранение.

### **Подготовка древесного сырья.**

Любое производство МДМ включает промывку щепы. Цель промывки удалить инородные включения (песок, грязь и т.д.). Кроме того, при промывке происходит повышение влажности щепы до 30–35.

### **Предварительная обработка**

Предварительная обработка щепы может включать следующие операции:

- продувку паром;
- пропитку водой;
- пропаривание;
- неглубокую химическую обработку растворами реагентов;

– варку с растворами реагентов.

**Продувка паром** применяется для вытеснения воздуха и частичного удаления летучих компонентов смолы. Продувку осуществляют в бункерах, куда подается щепа перед химической обработкой, паром 80 – 90 °С.

Удаление воздуха делает последующую пропитку древесины водой или растворами реагентов более быстрой, глубокой и равномерной. Продувку целесообразно производить вторичным паром, образующимся при размоле.

**Пропитка водой** пластифицирует компоненты древесины, что благоприятно отражается на качестве древесной массы и снижает удельный расход энергии на размол. Эта операция особенно важна при длительном хранении древесины на открытых площадках. Абсолютная влажность направляемой на переработку щепы должна быть, как правило, не менее 30 %.

Процесс пропитки водой при нормальных условиях протекает относительно медленно. Для его ускорения используют принудительную пропитку. Чаще всего с этой целью применяют импрессфайнеры, в которых происходит сжатие смоченной щепы.

Упругая релаксация (расширение) щепы, наступающая при ее выходе из зоны сжатия, обеспечивает быстрое проникновение влаги в капилляры древесины. Лучшие результаты дает сочетание продувки паром с принудительной пропиткой. Эта операция является частью процесса производства рафинерной механической массы (РММ).

Для поддержания влажности на необходимом уровне практикуют также орошение древесины водой на складе щепы и в древесно-подготовительном цехе.

**Пропаривание** щепы проводят при температуре 115 – 135 °С и давлении до 0,3 МПа, в течении 0,5 – 3 мин.. Влажный нативный лигнин переходит в высокоэластическое физическое состояние. Этим создаются благоприятные условия как для разделения древесины на волокна, так и для частичного фибриллирования волокон. Пропаривание является обязательной подготовительной операцией при производстве ТММ.

При температуре выше 140 °С начинается переход лигнина в вязкотекучее состояние. Вследствие этого происходит более легкое разделение древесины на волокна, в основном по срединной пластинке; заметно растет производительность мельниц и снижается удельный расход электроэнергии на размол. Однако высокая температура пропаривания неблагоприятно отражается на свойствах древесной массы. Частично расплавившийся лигнин покрывает

поверхность волокон тонкой сплошной пленкой. Последующее охлаждение и стеклование лигнина делает поверхность жесткой и гидрофобной, это препятствует набуханию и фибриллированию.

Кроме того, протекающие при высокой температуре окислительные, гидrolитические и конденсационные процессы приводят к потере белизны.

Полученная таким путем древесная масса непригодна для изготовления качественной бумажной и картонной продукции.

Для пропаривания щепы используют горизонтальные, вертикальные и наклонные камеры. Так как давление в пропарочной камере выше атмосферного, для загрузки щепы необходимо применять питатели.

На рисунке 6 показана схема устройства бункера для щепы, приспособленного для пропаривания и снабженного винтовым питателем. В питателе щепка проталкивается винтом в узкую часть конуса и образует на выходе плотную пробку, препятствующую выбросу пара из пропарочной камеры.

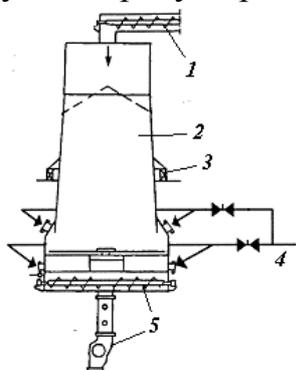


Рисунок 6 Схема бункера для пропаривания щепы:

1 – винтовой питатель; 2 – бункер; 3 – опоры бункера; 4 – подача пара; 5 – устройства для выгрузки щепы

**Неглубокая химическая обработка** (пропитка) древесины лежит в основе производства ХТММ. Цель обработки – увеличить пластификацию компонентов (главным образом лигнина) и сделать ее необратимой. Режимы обработки хвойных и лиственных пород существенно различаются, поэтому рассмотрены раздельно.

При пропитке щепы в производстве ХТММ приводит к растворению 3-5% компонентов древесины, способствует набуханию волокон, влияющему на изменение физических свойств и характер полуфабриката – высокому содержанию эластичных волокон с хорошо развитой поверхностью, что оказывает положительное влияние при формировании бумажного полотна. Использование химических реагентов обеспечивает повышение белизны и снижение экстрактивных веществ при обработке щепы щелочью. Следует отметить, что воздействие химических реагентов на щепу пластифицирует лигнин

и этот процесс необратим, тогда как термогидролитическая обработка оказывает обратимое пластифицирующее воздействие на лигнин.

В качестве химреагентов используют едкий натр и сульфит натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). При производстве ХММ и ХТММ из древесины хвойных пород и для ХММ из лиственных пород используется сульфит натрия. При производстве ХТММ из древесины лиственных пород применяется смесь сульфита натрия и гидроксида натрия или карбоната натрия. Расход для хвойной до 6%, а для лиственной – до 10%.

Известно, что обработка щепы гидроксидом натрия вызывает набухание волокна, обработка сульфитом натрия снижает температуру пластификации лигнина. Введение сульфогрупп в количестве 1,3% к массе а.с.в. приводит к полному разделению волокон и повышенному содержанию длинной фракции, что вызвано размягчением серединой пластинки. Введение сульфогрупп в количестве 1,3-2,0% к массе а.с.в. повышает гибкость и пластичность длиноволокнистой фракции, что приводит к увеличению межволоконных связей в процессе формирования бумажного листа вследствие размягчения клеточных стенок.

Величина рН при обработке около 9,5. понижение рН приводит к снижению выхода и не дает какого-либо улучшения качества полуфабриката. Кроме того, это приводит к образованию отложений в дисковых мельницах корродирующих веществ и газообразного диоксида серы, что в свою очередь усложняет рекуперацию тепла.

Обработка древесины хвойных пород при повышенных значениях рН снижает белизну и выход полуфабриката.

Пропитка щепы осуществляется в импрегнаторе, который обеспечивает быструю и равномерную пропитку древесного сырья.

Щепа, поступающая в импрегнатор, сжимается винтовым питателем «пробкового типа» влага и воздух, содержащийся во внутренних каналах древесных волокон вытесняются, при этом значительная часть экстрактивных веществ, воды и воздуха удаляется через сливное отверстие. При поступлении во внутреннюю часть импрегнатора щепа впитывает химические реагенты подобно губке. Уровень химикатов в колонне регулируется в пределах 50-60% от общей высоты колонны. Жидкость из верхней части, которая служит зоной обезвоживания, стекает снова в колонну. Пропитанная щепа вертикальными винтовыми питателями подается в проежutoчный бассейн или бассейн для термогидролитической обработки. Импрегнатор входит в состав современных установок по производству ТММ, что позволяет эффек-

тивно проводить термогидролитическую обработку и, при необходимости, переводить установку на производство ХТММ.

Выход и показатели механической прочности ХТММ/ХММ из древесины лиственных пород можно регулировать расходом гидроксида натрия или карбоната натрия. Увеличение реагента приводит к повышению показателей механической прочности. При расходе гидроксида натрия свыше 3% делает непригодным ХТММ для использования в композиции печатных видов бумаги.

Кроме того, высокий расход гидроксида натрия снижает белизну и способность отбеливания хвойной древесной массы. В то же время применение гидроксида натрия обеспечивает сохранение длины волокон и способствует снижению содержания костры в полуфабрикате.

Типичные режимы производства ХТММ и ХММ

Хвойная ХТММ: расход сульфита натрия 1-5%, продолжительность обработки, мин – 2-5, температура – 120-135С, выход- 91-96%.

Лиственная ХТММ: расход сульфита натрия 0-3% гидроксида натрия – 1-7%, продолжительность 0-5 мин, температура 100-120С, выход – 88 – 95.

Хвойная ХММ: расход – сульфита натрия – 12-20%, продолжительность 10-60 мин, температура 140-170С, выход – 87-91.

Лиственная ХММ: расход сульфита натрия 10-15%, продолжительность 10-60 мин, температура – 130-160 С, выход- 80 – 88%.

Свойства ХММ/ХТММ зависят от вида сырья, режима обработки химреагентами и гидролитической обработки, от вида механической обработки, сортирования и очистки, отбеливания.

**Варку** с растворами реагентов применяют для получения ХММ. При этом более глубоко протекают процессы, аналогичные рассмотренным выше: набухание клеточной стенки, сульфирование лигнина, разрушение хромофорных структур, гидрофилизация и снижение температуры стеклования лигнина. Это достигается ужесточением условий обработки древесины: повышением температуры, увеличением продолжительности обработки и расхода реагентов. Как и при производстве ХТММ, условия варки хвойной и лиственной древесины различны.

Хвойную древесину обрабатывают сульфитом или бисульфитом натрия. Условия варки: расход реагента 120–200 кг/т; температура варки 140–175 °С; продолжительность – 10–70 мин. Потери древесины составляют 9–13 %.

Лиственную древесину обрабатывают либо раствором сульфита натрия при расходе реагента 100–150 кг/т и температуре 130–160 °С в течение 10–60

мин, либо раствором гидроксида или карбоната натрия с добавками небольшого количества сульфита натрия. Условия варки по последнему варианту: температура 130–160 °С; продолжительность 10–70 мин; расход щелочного реагента 30–40 кг/т; расход сульфита натрия 10–20 кг/т. Потери древесины могут достигать 12–15 %.

### **Механическая обработка щепы (размол)**

Размол Основным типом размалывающих устройств в настоящее время являются дисковые мельницы различных конструкций – рафинеры. Принцип действия всех мельниц одинаков. Щепа проходит в узком зазоре между поверхностями двух соосно расположенных дисков, один из которых вращается, а второй либо неподвижен, либо вращается в противоположном направлении. Поверхности обоих дисков, обращенные друг к другу, имеют сложный профиль, называемый гарнитурой. Рабочими элементами гарнитуры служат «ножи» – узкие длинные выступы, оказывающие разрушающее воздействие на щепу.

По конструктивным признакам рафинеры принято делить на три типа, в зависимости от числа вращающихся и неподвижных дисков.

- однодисковые;
- сдвоенные;
- двухдисковые.

Однодисковые рафинеры имеют один вращающийся диск (ротор) и один неподвижный (статор). Из устройств этого типа наиболее широкое распространение получили рафинеры системы Асплунд фирмы Сундс-Дефибратор (Швеция). Щепа подается винтовым питателем со стороны статора через центральное отверстие. Поток щепы регулируется таким образом, чтобы питатель был заполнен лишь частично. Это обеспечивает беспрепятственное удаление пара, образующегося при рафинировании. Осевое усилие при рафинировании создается гидроцилиндрами и передается валу ротора через систему радиальных и упорных подшипников. Это же гидравлическое устройство применяется для присадки дисков – установления и регулирования величины зазора между рабочими поверхностями ротора и статора. Параметры одной из модификаций рафинера (типоразмер RGP60): диаметр размалывающих дисков 1500 мм; частота вращения ротора 1800 мин<sup>-1</sup>; мощность главного двигателя 10 МВт; производительность 105–170 т/сут, в зависимости от вида вырабатываемой механической массы.

Сдвоенные рафинеры снабжены одним вращающимся диском-ротором, расположенным между двумя неподвижными дисками. Гарнитура находится на обеих сторонах вращающегося диска. Такая конструкция как бы объединяет в себе две однодисковые мельницы.

Сдвоенные рафинеры обладают следующими преимуществами перед однодисковыми:

- обеспечивают удвоенную производительность при небольшом увеличении габаритов и занимаемой площади;
- на валу ротора не возникает больших осевых усилий, так как присадка по обе стороны вращающегося диска одинакова; это существенно упрощает конструкцию.

Мощные сдвоенные рафинеры выпускает фирма Спрут-Вальдрон (США).

В России специально для производства механической (древесной) массы из щепы на базе однодисковой мельницы МД-5Ш1 сконструирована сдвоенная мельница МДС-5Ш1.

Её основные параметры: частота вращения ротора  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ; мощность главного электродвигателя  $10 \text{ МВт}$ ; производительность до  $240 \text{ т/сут}$ .

Двухдисковые рафинеры имеют одну зону размола между двумя дисками, вращающимися в противоположные стороны. Каждый из дисков приводится во вращение от индивидуального электродвигателя. Двухдисковые рафинеры выпускают фирмы Сундс-Дефибратор (разных типоразмеров, в том числе модель RGP65DD, разработанную на базе однодискового рафинера RGP60), Бауэр и др.

К достоинствам двухдисковых рафинеров в сравнении с однодисковыми и сдвоенными относится несколько меньший удельный расход электроэнергии.

Из недостатков можно отметить следующие:

- значительно более сложная конструкция;
- рабочая концентрация не превышает 25–28 % из-за трудности ввода размалываемого материала через отверстия во вращающемся диске;
- затруднен отвод пара из зоны размола.

Рабочая поверхность гарнитуры характеризуется числом, размером и расположением ножей. Разработано большое число различных типов гарнитуры, однако достаточно надежного теоретического обоснования выбора той или иной гарнитуры пока нет, и эта задача решается эмпирически - простым подбором с учетом накопленного производственного опыта.

Независимо от типа рафинера, используемая в нем гарнитура состоит из секторов (рис. 7).

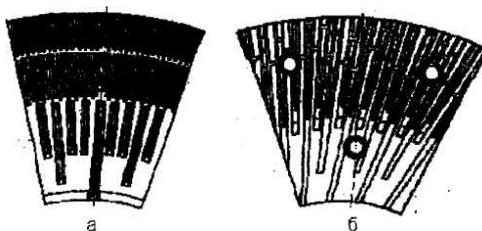


Рис. 7 Размалывающая гарнитура для дисковых мельниц:

*a* - для одноступенчатого размола; *б*- для первой ступени двух- или трехступенчатого размола

Число секторов в одном комплекте равно 6, 8 . Каждый сектор обычно имеет три зоны (в порядке прохождения длины - от центра диска к периферии):

- Первичного измельчения (заходная часть);
- первичного размола (средняя зона);
- вторичного размола (периферическая зона).

При ступенчатом размоле (в две или три ступени) гарнитура для мельниц первой ступени может иметь две зоны.

Поверхности зон выполнены в форме конусов. Наибольшая конусность - у зоны первичного измельчения, она составляет 5 - 15°, Конусность средней зоны равна 1-2°. Периферическая зона выполняется плоской или с очень небольшой конусностью (менее 1°).

Размалывающие ножи гарнитуры представляют собой длинные узкие выступы прямоугольного сечения, направленные от центра к периферии под некоторым углом к радиусу диска. Толщина ножей в средней и периферической зонах равна 1,5-3 мм. Ножи разделены канавками шириной 3-8 мм и глубиной 5-8 мм. В канавках средней и периферической зон располагаются поперечные перегородки, высота которых постепенно увеличивается к периферии до высоты ножей. Для исключения неравномерного износа гарнитуры перегородки располагают, как правило, по спирали.

Назначение перегородок: препятствовать сквозному движению волокнистой массы вдоль канавок и способствовать тем самым увеличению пути движения волокон в рабочем зазоре; препятствовать увлечению волокон потоком пара от периферии к центру дисков.

Гарнитура изготавливается методами точного литья в оболочковые формы. Нормальный срок службы комплекта гарнитуры из чугуна на первой ступени размола составляет 300-600 ч, из углеродистой стали - до 800 ч. Применение специальных сплавов (в т.ч. легированных сталей 17Н2М и 95Х18, чугуна с высоким содержанием хрома или бора) продлевает эксплуата-

цию гарнитуры до 1500-2000 ч и более, а нанесение на поверхность ножей карбидов вольфрама или титана - до 3500-5000 ч. На второй ступени размола продолжительность эксплуатации гарнитуры примерно вдвое больше, чем на первой.

### 6.1 Факторы размола

К наиболее существенным факторам, влияющим на процесс размола, относятся:

- породный состав древесного сырья;
- качество, фракционный состав и влажность щепы;
- способ и интенсивность предварительной обработки щепы;
- температура в зоне размола;
- концентрация волокнистой массы при размоле;
- конструкция и состояние ножевой гарнитуры;
- величина зазора между дисками (присадка дисков).

С ростом температуры снижается удельный расход энергии на размол. Показатели прочности вырабатываемой древесной массы при этом улучшаются, но только до достижения определенной температуры. В большинстве случаев температура массы в зоне размола при производстве ТММ находится в интервале от 105 °С до 130 °С, а при производстве ХТММ может быть повышена до 140 °С.

Концентрацию массы при размоле стараются поддерживать на возможно более высоком уровне. При этом улучшаются свойства полуфабрикатов и снижается удельный расход энергии на размол. В зависимости от конструктивных особенностей используемого оборудования, концентрация массы на первой ступени размола может находиться в интервале от 20 до 50 %, во второй ступени - от 15 до 40 %.

Гарнитура мельниц очень разнообразна. В промышленности используется более 400 видов гарнитуры, отличающихся конфигурацией ножей (их числом, формой профиля, размерами и расположением). Чем меньше расстояние между ножами, т.е. плотнее профиль поверхности, тем больше доля длиноволокнистой фракции в массе (при прочих равных условиях размола). Применение гарнитуры с редким профилем поверхности, напротив, приводит к увеличению доли мелочи. Комбинируя различные гарнитуры на первой и второй ступенях размола, можно гибко управлять показателями качества древесной массы.

Существенное влияние на характер размола оказывает состояние гарнитуры. После установки новой гарнитуры отмечается повышенная рубка волокон. Этот начальный период длится несколько суток, в зависимости от типа и твердости ножей. По мере износа гарнитуры уменьшается доля рубки и увеличивается фибриллирование волокон. Чрезмерный износ ножей, проявляющийся в уменьшении их высоты и в закруглении передних кромок, сопровождается снижением производительности и ухудшением качества древесной массы. Предельная величина износа ножей на различных установках колеблется от 0,2-0,3 до 2-3 мм.

Присадка дисков - один из наиболее важных управляемых факторов размола. В зависимости от вида вырабатываемых полуфабрикатов степени размола, температуры и концентрации в зоне размола зазор между дисками выбирается в диапазоне от 0,1 до 1 мм. Величину зазора уменьшают в следующих случаях: - по мере увеличения степени помола (от первичного измельчения щепы до тонкого размола);

- при снижении твердости щепы;
- при уменьшении концентрации массы;
- при повышении температуры рафинирования.

#### Расход энергии на размол

Древесномассное производство относится к числу энергоемких производств. В условиях нарастающего дефицита энергоресурсов и повышения связанных с этим затрат удельный расход энергии становится важной характеристикой процесса.

На удельный расход энергии при размоле влияют уже рассмотренные ранее факторы. Важнейшие из них:

- порода древесины и характер ее предварительной обработки;
- требуемая степень помола волокнистой массы;
- конфигурация и состояние гарнитуры мельниц;
- условия размола (температура, концентрация).

Установлено, что между прочностью древесной массы (сопротивлением разрыву и продавливанию) и удельным расходом электроэнергии на размол существует прямо пропорциональная зависимость. Расход энергии на рафинирование щепы значительно выше, чем на производство дефибрерной древесной массы, и составляет от 1400 до 1600 Вт\*ч/т, в зависимости от вида и качества вырабатываемого полуфабриката.

При двухступенчатом размолу распределение расходуемой энергии по ступеням зависит от породы перерабатываемой древесины.

Хвойная древесина размалывается при примерном соотношении расхода энергии в первой и второй ступенях 60:40. а при размоле лиственной древесины отношение величин близко к 40:60.

## **6.2 Технологическая схема производства термомеханической массы для производства газетной бумаги**

Щепа с площадки хранения подается пневматическим транспортером в бункер щепы (запаса щепы хватает при полном ходе установки на 2,5 часа). Виброразгрузителем находящимся на днище бункера, щепа разгружается на ленточный транспортер 1, который доставляет ее на ленточный транспортер 2. Скорость ленточного транспортера I регулируется автоматически, в зависимости от уровня щепы в бункере с подвижным дном (скорость регулируется электродвигателем постоянного тока). Верхним пределом уровня останавливается транспортер и виброзагрузитель, нижним запускаются.

Ленточный транспортер 2 подает щепу к подъемному шнеку. На ленточном транспортере 2 установлен прибор для замера количества подаваемой щепы, показания общего количества щепы передаются на центральный пульт. Из подъемного шнека, расположенного вертикально, щепа поступает в распределительный шнек, перед которым установлена заслонка, направляющая щепу в любой из двух промывателей или в оба вместе. В промывателях щепа промывается горячей водой, температура которой равна 70-80 °С, с целью удаления тяжелых включений, которые могут привести к разрушению размалывающей гарнитуры и быстрому ее износу. Один промыватель предназначен для обеспечения промывки щепы в количестве 75% от полной производительности установки. Щепа ссыпается распределительным шнеком в переднюю часть промывной ванны, где перемешивается в воде, поступающей от sprысков. В середине ванны вращается погрузочный валик, снабженный лопастями, который погружает всю щепу под воду и продвигает к разгрузочному порогу. Тяжелые включения (камни, проволока, обломки металла, мелкие камешки, песок) падают вниз, в V-образный желоб, откуда транспортируемый шнеком, отправляется в грязевик. Грязевик представляет из себя трубопровод, оснащенный двумя пневматическими шаберными заслонками, установленными на различной высоте, позволяющими производить периодический сброс осевших включений в сборник отходов. К грязевику подведена обратная вода, которая поднимает затонувшую щепу к разгрузочному порогу. Промытая щепа переливается вместе с водой через разгрузочный порог и попадает по выпускному откосу на вибросортировку. На сите

сортировки щепы обезвоживается и ссыпается по течке с подвижным дном. Вода от вибросортировки собирается в воронке и отправляется в бак промывной воды (103.10), емкостью  $10 \text{ м}^3$ , в который также добавляется оборотная вода от насоса восполняющая уходящую воду с промывателя. Уровень в баке добавлением оборотной воды поддерживается с помощью регулятора постоянным. Из бака промывной воды насосом часть воды подается на sprays в промывную ванну, часть насосом на два вихревых очистителя. Очищенная вода проходит дуговую сортировку и направляется в бак промывной воды. Отходы подаются в сборник отходов, перелив которого идет в канализацию, тяжелые включения периодически, по мере надобности, выгружаются. Бункер с подвижным дном предназначен для выравнивания потока щепы в системе транспортировки на размол. Разгружающаяся неравномерно щепы с вибрационных сортировок накапливается и подается тремя разгрузочными шнеками ровным потоком. Кроме того, бункер служит для осуществления циркуляции около 10% избыточной щепы, это необходимо для равномерной загрузки рафинеров I и II ступени. Посредством регулировки числа оборотов разгрузочных шнеков устанавливается желаемая производительность и желаемый избыток щепы (число оборотов регулируется электродвигателем постоянного тока). Из бункера щепы подается в разгрузочный шнек, который доставляет ее к двум шлюзовым питателям системы пневмотранспорта. Из пневмотранспорта щепы попадает в два циклона, где отделяется от воздуха, попадает в шнек перемещения I, затем транспортируется распределительными шнеками и шнеком перемещения 2. Распределительные шнеки питают соответственно свои рафинеры. Шнек перемещения 2 подает избыток щепы обратно в бункер с подвижным дном. Когда отбора щепы на размол не осуществляется, весь поток щепы в системе подачи на размол может циркулировать через избыточный тракт; в этом случае уровень щепы в бункере с подвижным дном достигает верхнего предела и останавливает виброразгрузатель и ленточный транспортер, т.е. подачу из бункера щепы.

Процесс размола осуществляется с предварительной пропаркой на рафинерах в две ступени, работающих под давлением, процесс типа «Тандем». Размол происходит по пяти одинаковым линиям, каждый из которых включает пропарку, рафинер I ступени, рафинер II ступени.

Щепы от распределительного шнека забирается дозатором роторного типа и разгружается в пропарочную камеру, находящуюся под давлением. Дозатор является затвором между атмосферой и пропарочной камерой. Дозатор имеет гидравлический привод, которым осуществляется изменение числа оборотов ротора, что увеличивает или уменьшает подачу щепы в пропароч-

ную камеру. Изменяется число оборотов с помощью регулятора уровня, это позволяет производить необходимую задержку щепы и поддерживать постоянный уровень в пропарочной камере. Время пропарки щепы 2-3 минуты. Контроль за уровнем в камере происходит посредством радиоактивного прибора излучения. Пропарка при пуске осуществляется свежим паром, по мере появления пара, который образуется при размоле в рафинере 1 ступени, т.о. надобность в свежем паре отпадает. Автоматическая регулировка подачи свежего пара позволяет изменять его расход и поддерживать необходимые давления в системе. Пропарочная камера – I, I бар, рафинер I ступени – 1,25 бар, перепад давления 0,15 бар, температура в пропарочной камере – 122<sup>0</sup>С, циклон –пароотделитель – 0,9 бар, рафинер II ст. выход – 0,8 бар. Если количество пара, образующегося в рафинере превышает потребность пропарки, то излишек пара может быть выведен через пропарочную камеру в теплорекуперацию. Пропарочная камера установлена в вертикальном положении и служит для разогрева и размягчения щепы перед размолем. Возможна также подача химикатов в щепу перед пропаркой. Щепа, попадая в пропарочную камеру, под действием собственного веса падает вниз, пропаривается и затем выгружается дозатором роторного типа (аналогичному на загрузке).. С дозатора щепа падает через пароотделительный конус на питатель рафинера I ступени. Пароотделительный конус имеет отвод пара к пропарочной камере. Питатель устроен таким образом, что пар, выходящий из зоны размола, может беспрепятственно проходить внутри шнека против потока щепы.

Питателем щепы подается в зону размола двухдискового рафинера с одним вращающимся диском. К рафинеру подведена свежая и обратная вода, для поддержания необходимой концентрации при размоле, расход воды связан с регулятором изменения числа оборотов разгрузочного дозатора, а также для промывки при остановке. Из рафинера I ступени масса выдувается за счет давления пара, образующегося в рафинере (при пуске за счет свежего пара) по трубопроводу в циклон-пароотделитель I ступени размола, работающего под давлением. Избыточный пар от циклона идет к установке теплорекуперации. Циклон снабжен скребками, снимающими массу от стенок и спрыском, предотвращающим проход волокна в теплорекуперационную установку. Из циклона масса подается турбопитателем в рафинер II ступени. Турбопитатель приводится во вращение посредством фрикционной муфты от рафинера и дает возможность свободного прохода пара от рафинера по обводному паропроводу в верхнюю часть циклона, что выравнивает и успокаивает поток массы, идущей в зону размола. Из рафинеров II ступени масса с помощью дополнительного, возникающего в рафинерах, давления пара вы-

дувается в циклон, оборудованный водяными sprays для предотвращения уноса массы в теплорекуперационную установку и разбавления массы подходящей концентрации.

Из циклонов масса подается в бак латентности, а пар уходит на теплорекуперацию.

Из бассейна снятие латентности термомеханическая масса откачивается массным на двухступенчатое сортирование. Предварительно масса разбавляется до концентрации 0,9 – 1,0 %. При сортировании происходит отделение грубого, неразмолотого волокна и костры. Перепад давления на сортировках 0,3 – 0,5 бар. После сортировок отсортированная и разбавленная масса подается на сгущение.

Отходы с сортировок направляются в бассейн отходов, далее сгущаются и поддаются на сгуститель отходов и далее на рафинер отходов для размола.

Количество отходов сортировок составляет 25 % от всего потока массы.

Отсортированная масса со II ступени сортирования подается в общий поток.

#### Контрольные вопросы?

1. Какие процессы включает производство химико-механической массы?
2. Какую обработку щепы можно проводить перед ее размолом?
3. Где проводят предварительную пропарку щепы перед размолом и ее назначение?
4. Какое оборудование используют для размола щепы?
5. Факторы размола и их влияние на качество и выход древесной массы?
6. Из чего состоит гарнитура рафинера?
7. Технология получения термо-механической древесной массы?
8. Назначение химической обработки щепы перед размолом и режимы обработки лиственной и хвойной древесины?

## 7. Рекуперация тепла

На собственно размол и рафинирование волокон расходуется обычно не более 10-15 % энергии, потребляемой мельницами. Почти вся остальная энергия идет на образование вторичного пара в зоне размола. Количество испаренной при этом влаги составляет от 1300 до 2500 кг на тонну вырабатываемого волокнистого полуфабриката. Использование вторичного пара позволяет утилизировать 40-80 % энергии, затраченной при размоле. Это существенно улучшает технико-экономические показатели производства древесной массы в целом. При степени рекуперации тепла 80 % удельные энергозатраты на производство ТММ снижаются до уровня, сопоставимого с расходом энергии на производство дефибрерной древесной массы.

Наиболее эффективно рекуперация тепла осуществляется при размоле под давлением (например, в системе "Тандем").

Водяной пар, покидающий мельницу с большой скоростью, увлекает некоторое количество частиц древесины и волокна. Кроме того, он загрязнен летучими компонентами древесины и продуктов термической деструкции - парами метилового и этилового спиртов, муравьиной и уксусной кислот, скипидара и др. Конденсат пара имеет кислую реакцию. Соприкасающиеся с ним поверхности теплообменных и других аппаратов должны быть защищены от коррозии.

Основные направления использования вторичного пара, образовавшегося при размоле щепы:

- продувка щепы в бункере;
- подогрев щепы в пропарочной камере перед размолом;
- подогрев воздуха (в экономайзере) для технологической вентиляции сушильной части бумагоделательной машины и для отопления производственных помещений;
- получение в теплообменниках горячей воды для технологических и бытовых нужд;
- получение в скрубберах теплой воды (для размораживания древесины перед окоркой, промывки щепы и т.п.).

Свойства пара, образующегося при механической обработке древесного сырья в дисковых мельницах зависит от большого количества факторов:

- породы древесины;
- качества окорки древесины;
- продолжительности и условий ее хранения;

- промывки и обезвоживания древесного сырья;
- режима термо- или химико-термогидролитической обработки щепы;

режима механической обработки (дефибрирования щепы и рафинирования волокон) древесного сырья: концентрации, температуры, давления, УРЭ при размоле.

Исследования состава пара, проведенные на установке по производству ТММ - "Тандем" на предприятии Финляндия показали, что пар содержит следующие вещества:

терпены	- 50 г/т;
фурфурол	- 20 г/т;
этанол	- 20 г/т;
уксусная кислота	- 10 г/т;
муравьиная кислота	— 5,0 г/т;
метанол	- 2,0 г/т;
смоляные кислоты	- 1,0 г/т;
жирные кислоты	- 0.5 г/т

Воздух и волокно - основные компоненты, снижающие интенсивность теплообмена (коэффициент теплопередачи) при использовании пара, полученного на установках по производству ТММ/ХТММ.

Содержание воздуха в паре должно быть снижено до минимума, т. к. каждый процент воздуха в паре снижает коэффициент теплопередачи на 10% и более.

Органические вещества: метанол, этанол, уксусная и муравьиная кислоты практически не влияют на коэффициент теплопередачи.

Следует отметить, что муравьиная кислота весьма коррозионноактивная, вследствие чего теплообменники и другое оборудование, применяемое в системах по рекуперации тепла, должно быть выполнено из кислотоупорной стали.

Наличие в паре экстрактивных веществ - терпенов, смоляных и жирных кислот - вызывает отложения на поверхности оборудования, снижая тем самым интенсивность теплообмена:

Исследования, проведенные на предприятии Kaipola, показали, что отложения на поверхности оборудования состоят на 85% из терпенов и на 15% из смол и жиров.

Образование отложений происходит довольно быстро в первый период времени (2 часа), а затем, почти полностью прекращается.

Толщина отложений заметно снижается при повышении температуры пара с 70 до 90 °С.

Обработка массы 0,05% раствором NaOH достаточно эффективно очищает поверхность оборудования, однако некоторая часть отложений не растворяется в 0,05% растворе NaOH.

Наряду с воздухом, наличие древесных волокон в паровоздушной смеси отрицательно влияет на процесс теплообмена.

В случае неудовлетворительной работы циклона либо при недостаточно эффективной очистке пара, волокна откладываются на поверхности труб или пластин теплообменника и образуют слой изоляции с низким коэффициентом теплопроводности. Коэффициент теплопередачи при этом значительно снижается.

Поэтому необходимо обеспечить очистку пара от волокон или производить регулярное удаление их с наружных стенок теплообменника.

Концентрация при размоле древесного сырья оказывает значительное влияние на количество полученного пара.

Повышение концентрации при размолу на мельницах первой ступени с 35 до 50% увеличивает количество пара на 25%.

Повышение концентрации при размолу на второй ступени до 50% увеличивает количество пара на 65%.

Количество пара, получаемого при механической обработке древесного сырья в дисковых мельницах может быть увеличено путем повышения температуры воды используемой для разбавления: повышение температуры воды до 130°С увеличивает количество пара на 10%.

При этом дополнительный нагрев воды, направляемой на разбавление, может осуществляться за счет конденсата пара, отходящего от установок по производству ТММ/ХТММ.

## **8. Отбелка древесной массы**

Характерная особенность отбелки древесной массы заключается в достижении оптического эффекта повышения белизны без удаления лигнина. Это позволяет сохранить высокий выход полуфабриката. Отрицательные следствия отбелки: невозможность отбелки до достижения высокой белизны, сопоставимой с показателями беленой целлюлозы; нестабильность белизны, постепенное старение и пожелтение полуфабриката (реверсия белизны).

Факторы, влияющие на отбелку древесной массы

- порода древесины и качество сырья;
- способ получения древесной массы;
- температура на всех этапах технологического процесса.

### **Породный состав древесного сырья**

Наибольшую белизну имеют волокнистые полуфабрикаты из ели и осины. Обе породы при благоприятных условиях поставки и хранения обеспечивают получение дефибрерной массы с белизной до 65 % и ТММ с белизной до 59 %.

Примерно с такой же или немного меньшей белизной получаются полуфабрикаты из тополя.

Из сосновой и березовой древесины получается масса значительно меньшей белизны (белизна ТММ из березы составляет всего 45 %.)

Совместный размол древесины разных пород приводит к снижению белизны в сравнении с этим показателем для каждого из полуфабрикатов, полученных при отдельном размолу сырья.

Существенное влияние на белизну оказывают экстрактивные вещества древесины: на каждые 0,1 % экстрактивных веществ снижение белизны древесной массы составляет в среднем 3,7 %.

При переработке свежесрубленной древесины всегда получается более светлая древесная масса. Длительное хранение древесины снижает белизну, даже если отсутствуют признаки гниения. Появление окрашенной гнили, естественно, приводит к резкому ухудшению белизны вырабатываемых полуфабрикатов и к затруднениям при их последующей отбелке. Каждый месяц хранения сопровождается потерей белизны в среднем на 2%.

### **Способ получения.**

Полуфабрикаты, выработанные без применения химикатов, по степени белизны располагаются в следующий ряд: ДДМ > РДМ > ТММ. Разница в белизне между ними составляет 2-3 единицы.

Белизна ХТММ и ХММ зависит от вида и количества используемых для обработки реагентов.

Предварительная обработка еловой древесины сульфитом натрия повышает белизну вырабатываемых полуфабрикатов. Например, при расходе сульфита 2 % белизна еловой ХТММ возрастает на 3 единицы в сравнении с ТММ из того же сырья, а двукратное увеличение расхода сульфита дает прирост белизны на 5 единиц.

Использование гидроксида натрия и других щелочных реагентов при выработке химических полуфабрикатов из лиственных пород древесины снижает белизну. Например, добавление гидроксида натрия в количестве 15 кг/т снижает белизну ХТММ из осины с 62 % до 54 %, а в количестве 40 кг/т - до 42 % (при одинаковых расходах сульфита натрия).

### **Температура**

Повышение температуры обработки на всех стадиях производства оказывает отрицательное влияние на белизну полуфабрикатов. Особенно сильно проявляется влияние температуры от 120 °С и выше.

### **Влияние ионов металлов на белизну древесной массы**

Основные источники ионов металлов в массе:

- зольные компоненты древесины;
- конструкционные материалы оборудования и трубопроводов;
- производственная вода и используемые химические реагенты.

Ионы железа – дают значительное потемнение. Они могут гидролизироваться с образованием окрашенных гидроксидов. Кроме того, железо образует темноокрашенные комплексы с участием фенольных компонентов древесной массы. Введение всего лишь 5 мг железа на 1 кг волокна способно привести к снижению белизны древесной массы на 2 единицы. Белизна, потерянная под влиянием солей железа, практически не поддается восстановлению при отбелке.

Ионы марганца не приводят к заметному снижению белизны. Марганец является сильным катализатором разложения пероксида водорода.

Ионы меди образуют окрашенные комплексы с фенольными компонентами древесины и снижают эффективность отбелики восстановителями, но в гораздо меньшей степени, чем ионы железа. Медь также является катализатором разложения пероксида водорода, но менее активным, чем марганец.

Ионы свинца могут оказаться очень существенной помехой при отбелке дитионитом. Одним из продуктов разложения дитионита является сульфидион, в результате чего возможно образование нерастворимого в воде и оседающего на волокнах древесной массы черного сульфида свинца.

Ионы алюминия оказывают очень слабое отрицательное влияние на белизну древесной массы.

Ионы кальция, магния и других щелочноземельных металлов благоприятно влияют на процесс отбелики, белизну и стабильность древесной массы с применением как окисляющих, так и восстанавливающих реагентов.

Ионы натрия и других щелочных металлов не влияют на эффективность отбелики и стабильность белизны древесной массы.

Для устранения действия ионов металлов на отбелку применяют пассиваторы.

В качестве пассиваторов используют: полифосфаты, аминополикарбонаты, пирофосфат натрия  $\text{Na}_2\text{P}_4\text{O}_7$ , триполифосфат натрия  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , этилендиаминтетрауксусная кислота, этилендиаминтетраацетат натрия (трилон Б), дитио-лентриаминпентаацетат натрия.

Расход не превышает 5 кг на тонну волокна, в большинстве же случаев составляет 1-2 кг/т. Прирост белизны за счет добавок пассиваторов составляет 2-3 % и более.

## **Отбелка восстанавливающими реагентами**

### **Отбелка дитионитами**

Дитиониты (техническое название гидросульфиты), являющиеся солями дитионистой кислоты  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ , - сильные восстановители. Для отбелики древесной массы широко применяется дитионит натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ , реже - дитионит цинка.  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  (таксичен)

Основные условия приготовления отбеливающих растворов из порошкообразных дитионитов - интенсивное перемешивание без контакта с воздухом. Дитионит натрия быстро растворяется в воде, дитионит цинка значительно медленнее. Обычно готовят концентрированные растворы, содержащие до 200 г/л реагента. Хранение до 3 часов

Растворы дитионитов менее устойчивы в кислой среде. Критическая величина рН для дитионита натрия равна 5,0, а для дитионита цинка - 4,0. Перед их растворением рекомендуется добавлять в воду едкий натр (из расчета 7,5 г на 1 л раствора) или кальцинированную соду (до 10 г/л).

### **Условия отбели**

Расход дитионита - не превышает 1 % (в пересчете на сухое волокно). - повышения белизны хвойной древесной массы на 8-10 %. В диапазоне расходов от 0 до 0,5 % наблюдается наибольший прирост белизны на единицу израсходованного реагента. Увеличение дозировки до 1 % сопровождается менее эффективным приростом белизны, дальнейшее повышение расхода считается неэффективным и экономически нецелесообразным.

Кислотность среды -

-  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  - от 5,0 до 8,5,

-  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  от 4,5 до 6,0.

Понижение рН вызывает ускоренное разложение отбеливающих реагентов, с ростом рН падает скорость отбелики вплоть до полного прекращения процесса.

Накопление продуктов окисления дитионита в ходе отбелики, как в результате реакций с компонентами древесины, так и вследствие побочных реакций с кислородом воздуха, приводит к постепенному понижению рН – добавка щелочи к отбеливающему раствору или к волокнистой массе.

Температура обработки ( при любой температуре от 35 до 95 °С)- оптимальная в течение 20-40 мин при температуре 65-75 °С,

Нагревание массы может быть оправданным только в тех случаях, когда прирост белизны должен составить более 8 единиц.

Концентрация массы – необходимо быстрое и качественного перемешивания массы с раствором дитионита без контакта с воздухом.

Оптимальная концентрация - 4-6 %,

Повышение концентрации волокнистой массы при отбелике дает целый ряд преимуществ:

- значительно растет скорость и сокращается продолжительность процесса;
- уменьшаются потери дитионита на побочные реакции из-за меньшего количества кислорода, растворенного в воде;
- снижается расход пара на нагревание массы;
- сокращаются габариты оборудования.

### **Отбелка бисульфитам натрия**

Бисульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ . – слабый восстановитель.

Блокирует карбонильные группы с образованием неустойчивых окисульфоновых кислот. Последние легко разлагаются под влиянием окислителей, света, тепла и кислот, что приводит к пожелтению отбеленной массы и снижению (реверсии) белизны.

Расход

Прирост белизны - на 2-3 единицы при расходе бисульфита 1 % и на 3-4 единицы при расходе 2 % (в расчете на сухое волокно).

Температура

Отбелка на холоду протекает очень медленно (до 4-6 ч). Повышение температуры и концентрации массы ускоряет процесс, почти не отражаясь на его эффективности.

### **Отбелка окисляющими реагентами**

#### **Отбелка пероксидами**

Окислительным (белящим) действием обладают только пероксид-ионы.

Пероксид натрия применяется для отбелки значительно реже, чем пероксид водорода.

### **Условия отбелки**

Хорошо отбеливаются полуфабрикаты из ели и пихты - прирост белизны может составить 10-12 единиц при обычном расходе реагентов.

Еще лучше отбеливаются лиственные полуфабрикаты. Например, осиную ХММ с начальной белизной всего 48 % удастся отбелить пероксидом водорода до белизны 77,6 %. Хуже других поддаются отбелке пероксидами полуфабрикаты из сосны.

Расход отбеливающего реагента зависит от начальной белизны полуфабриката и требуемого прироста белизны.

Наибольший прирост - до 20-25 кг на 1 т волокна, при дальнейшем увеличении расхода удельный прирост белизны снижается.

Например, при отбелке хвойной ТММ и ХТММ расход пероксида 10 кг/т дает прирост белизны до 10 единиц; в диапазоне расхода от 10 до 20 кг/т дополнительный прирост белизны составляет 3-4 единицы на 10 кг заданного пероксида; в диапазоне расхода от 20 до 40 кг/т прирост белизны составляет 1-2 единицы на каждые 10 кг дополнительно заданного пероксида.

Расход пероксида водорода более 35 кг/т считается нецелесообразным по экономическим соображениям.

Обычно к концу отбелки остается неизрасходованным от 10 до 30 % пероксида от его первоначального количества. Остаточный пероксид может быть возвращен в производство с оборотной водой.

Оптимальным в начале отбелки является рН 10-11.

При более высоком рН активность отбеливающего раствора растет, но увеличивается и степень распада пероксида - перерасх реагента.

Снижение рН до 8 и ниже процесс отбелки резко замедляется или вообще прекращается.

В состав отбеливающего раствора, помимо пероксидов, входят регуляторы рН, стабилизирующие и пассивирующие реагенты.

Древесная масса обычно имеет кислую реакцию (рН от 4,5 до 5). Пероксид водорода также является слабой кислотой. Необходимое значение рН при отбелке пероксидом водорода может быть достигнуто добавками гидроксида натрия. Однако буферные свойства гидроксида натрия невелики. К тому же он быстро сорбируется древесной массой. В результате рН раствора резко падает задолго до завершения отбелки. В качестве буферного агента, способного поддерживать рН на оптимальном уровне в течение всего процесса, обычно используется силикат натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

Для уменьшения вредных последствий каталитического разложения пероксидов под влиянием тяжелых металлов в отбеливающий раствор вводятся стабилизирующие добавки. К числу относительно слабых стабилизаторов относятся силикат натрия и сульфат магния.

Ниже приведены примеры удельных расходов реагентов (в кг на 1 т волокна) при отбелке древесной массы пероксидом водорода (пример 1), пероксидом натрия (пример 2) и их смесью (пример 3) (табл.12).

Таблица 12 Расход реагентов для пероксидной отбелки

Реагент	Пероксид водорода	Пероксид натрия	Смесь пероксидов
Пероксид водорода	17	–	8,5
Пероксид натрия	–	20	10
Гидроксид натрия	10	–	–
Серная кислота	–	14	–
Силикат натрия	40	40	40
Сульфат магния	0,5	0,5	0,5
Трилон Б	1	1	1

Концентрацию массы поддерживают на высоком уровне: от 8 до 35 %. Температура - от 40 до 70 °С, продолжительность - от 1 до 2 ч. Повышение температуры сверх 60° с целью сокращения продолжительности процесса редко дает ожидаемый эффект, так как сочетание высоких значений температуры и щелочности приводит к снижению белизны.

Нейтрализация массы часто служит дополнительной заключительной операцией. После отбелки пероксидами древесная масса имеет желтоватый оттенок из-за остаточной щелочности. Сорбированная щелочь и остатки окислителей способствуют ускоренной реверсии белизны. Для стабилизации белизны массу часто нейтрализуют растворами минеральных кислот (серной или соляной) до рН 5-7.

Наилучшие результаты дает применение для этой цели диоксида серы или бисульфита натрия, которые добавляют к волокнистой массе перед аккумулялирующими бассейнами.

## 8.1 Схемы отбелки древесной массы

Применяемые на практике технологические схемы отбелки древесной массы весьма разнообразны. Достижение максимально возможной белизны требует дополнительных производственных затрат и влечет за собой повышенные потери волокна, в то время как для выработки многих видов бумажной продукции можно ограничиться умеренной белизной.

Для обозначения используемых отбеливающих реагентов при описании схем отбелки используют прописные буквы: Р – пероксид; У – дитионит; R – боргидрид.

В некоторых случаях отбелку совмещают с размолом щепы.

В качестве примера на рисунке 10 приведена технологическая схема производства БХТММ из лиственной древесины, разработанного независимо друг от друга фирмами Sunds Defibrator и Scott Paper Co. и получившего название М-процесс (известен также под названием ВСТР-процесс). Отбелку проводят пероксидом водорода. Обработанная бисульфитным раствором щепы смешивается с растворами вспомогательных реагентов (каустика, силиката натрия, комплексонов) перед импрегнатором и выдерживается в пропарочной камере в течение 15 мин при температуре 70 °С. Одной из особенностей этой схемы является отжим избытка силиката и других веществ, не адсорбированных древесиной, перед размолом. Это предотвращает отложение силиката на гарнитуре дисковых мельниц. Пероксид водорода подают в вин-

товой питатель перед первой мельницей, работающей при атмосферном давлении. Вторую ступень размола проводят при высокой концентрации массы и повышенной температуре (соответственно 40–5 % и 100–20 °С). Белизна вырабатываемой древесной массы составляет 80–82 % ISO.

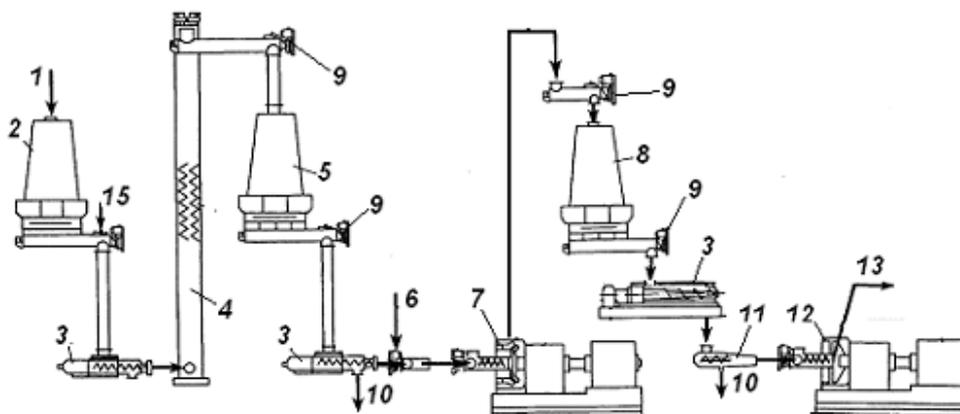


Рисунок 10– Схема М-процесса: 1 – щепы, обработанная сульфитом натрия; 2 – бункер обработанной щепы; 3 – винтовые питатели; 4 – импрегнатор PREX; 5 – бункер для выдерживания щепы; 6 – раствор пероксида водорода; 7 – дисковая мельница первой ступени размола; 8 – реактор; 9 – транспортирующие шнеки; 10 – избыток реагентов; 11 – винтовой пресс; 12 – дисковая мельница второй ступени размола; 13 – масса в бассейн устранения латентности

Отбелка в дисковых мельницах дает возможность избежать расходов, связанных с созданием и эксплуатацией отбельных установок, но она менее эффективна по сравнению с отбелкой в башне. В последнем случае использование отбеливающего реагента происходит наиболее полно. На рисунке 11 приведены примеры разных схем использования избыточного количества пероксида водорода – либо до отбелки, либо после окончания процесса отбелки.

При удалении избыточного отбеливающего раствора до отбелки процесс можно проводить при достаточно высокой концентрации массы – 20...30 % и более. Для обезвоживания массы используют двухбарабанные пресс-фильтры, винтовые или ленточные прессы.

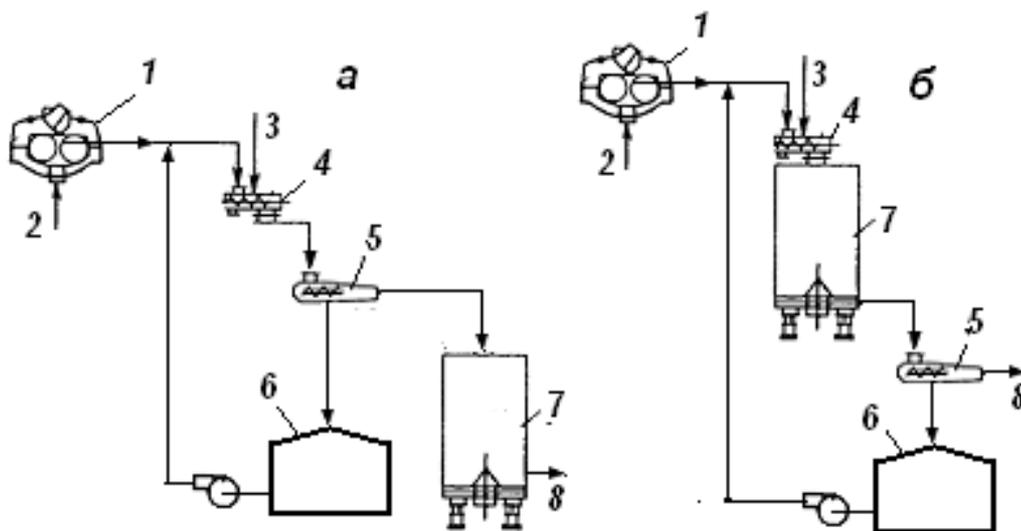


Рисунок 11 Схема одноступенчатой отбели перексидом водорода и использования избыточного раствора реагентов с отбором их до отбели (а) и после отбели (б): 1 – двухбарабанный фильтр; 2 – волокнистая масса после очистки и сортирования; 3 – раствор реагентов для отбели;

4 – смеситель; 5 – винтовой пресс; 6 – сборник фильтрата (раствора избыточных реагентов); 7 – отбельная башня; 8 – отбеленная древесная масса

Современным направлением в технологии отбели древесной массы является использование пероксида водорода на двух ступенях отбели (схема РР) с рециркуляцией отработанного отбеливающего раствора и проведение процесса отбели при средней и высокой концентрации массы. Пример такой организации технологического процесса приведен на рисунке 12. К очищенной древесной массе (ДДМ или ТММ) добавляют раствор комплексона. Интенсивное перемешивание волокнистой суспензии и реагента происходит в насосе. Фильтрат, отбираемый при последующем сгущении суспензии до 25–30 %, направляют в сток, с ним удаляется значительная часть комплексов тяжелых и переходных металлов. Первую ступень отбели проводят при средней концентрации волокнистой массы (12–15 %), вторую – при высокой концентрации (25–35 %). Для разбавления суспензии используют оборотный фильтрат, содержащий остаточные количества реагентов.

Двухступенчатый способ отбели перексидом водорода по сравнению с одноступенчатым позволяет для достижения одинаковой белизны расходовать меньшее количество химических реагентов.

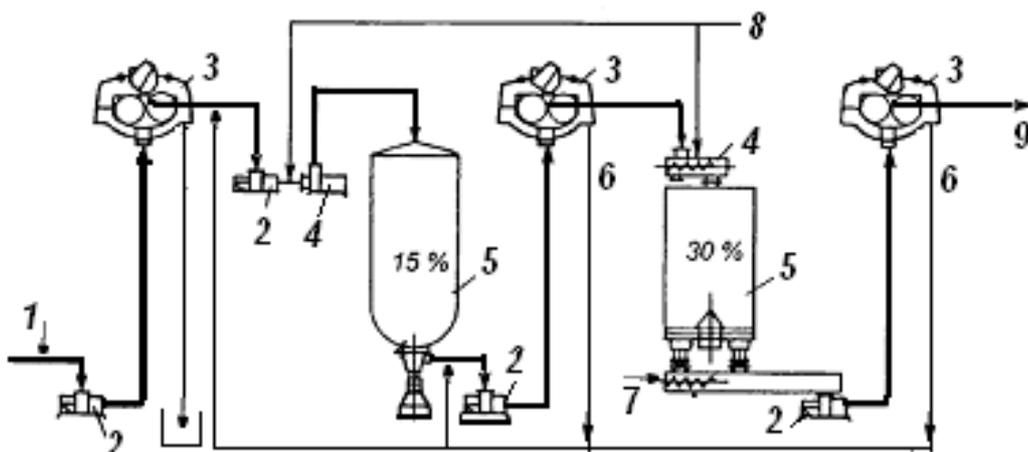


Рисунок 12 Схема двухступенчатой отбеливания перексидом водорода: 1 – раствор комплексона; 2 – насосы средней концентрации (МС); 3 – двухбарабанные фильтры; 4 – смесители; 5 – отбельные башни; 6 – оборотный фильтрат; 7 – теплая вода; 8 – растворы реагентов; 9 – беленая древесная масса

### Комбинированная отбеливание

Прирост белизны древесной массы при оптимальном расходе каждого из рассмотренных отбеливающих реагентов не превышает обычно 12-14 единиц. Дальнейшее увеличение расхода реагента оказывается малоэффективным, несмотря на то, что процесс разрушения хромофоров в древесной массе к этому моменту, как правило, еще не завершен. Более высокий эффект отбеливания может быть достигнут комбинированием восстановительного и окислительного воздействий, так как при этом в реакции вовлекаются практически все хромофорные группировки.

В тех случаях, когда белизна древесной массы должна быть повышена более чем на 12 единиц, применение двухступенчатой отбеливания - сначала перексидом водорода, затем дитионитом натрия - позволяет сделать это с приемлемой рентабельностью. Вторая ступень может дать примерно 1,5-кратное приращение белизны к той, которая достигается в первой ступени.

Оптимальный режим перекисной ступени отбеливания древесной массы не отличается от режима обычной одноступенчатой отбеливания прирост на 1 ступени - 10-13 единиц.

Прирост белизны на 2 ступени - 3-5 единиц.

При отбеливании хвойной древесной массы может составить 13-18 единиц, а при отбеливании лиственной древесной массы - до 20 единиц.

Перед отбеливанием (рис.8), а также после каждой ступени отбеливания предусматривается отжим массы на двухбарабанных прессах без предварительного разбавления. До подачи в башни масса подогревается паром, а затем смеси-

вается в трубчатом турбулентном смесителе с пероксидом водорода и разбавляется до рабочей концентрации. 1-я ступень рассчитана на отбелку массы в течение 30 мин при температуре 85 °С, вторая — в течение 120 мин при такой же температуре. Обработка боргидридом натрия осуществляется в турбулентном смесителе и в башне небольшого объема.

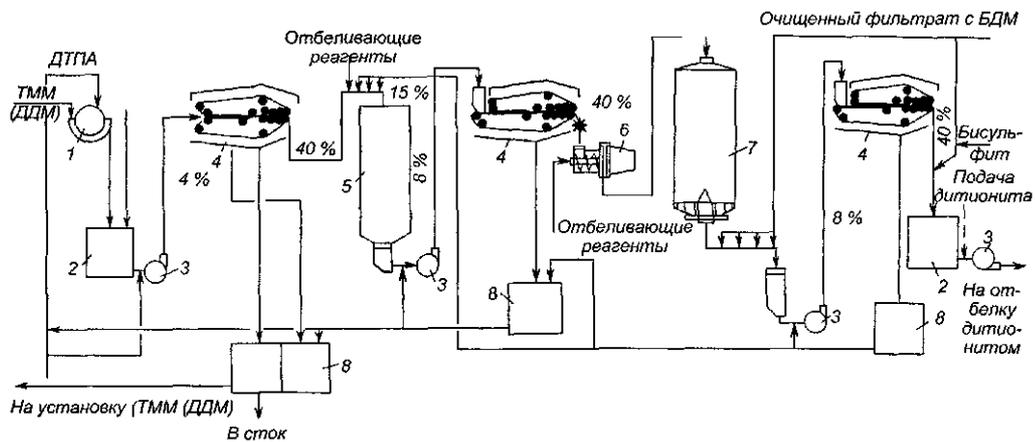


Рис. 8 Отбелки пероксидом водорода в две ступени с дополнительной ступенью отбелки дитионитом

1 — дисковый фильтр; 2 — мешалки; 3 — массные насосы; 4 — ленточные прессы; 5 — отбельная башня для массы средней концентрации; в — смеситель; 7 — отбельная башня для массы высокой концентрации; 8 — баки для фильтратов

### Контрольные вопросы

1. Отличие отбелки древесной массы от отбелки целлюлозы?
2. Влияние ионов металлов на белизну древесной массы?
3. Что означает термин – реверсия белизны?
4. Отбелка древесной массы окисляющими реагентами?
5. Технология комбинированной отбелки древесной массы?

## 9. Сортирование древесной массы

Древесная масса в ванне дефибрера представляет собой смесь хорошо разработанных волокнистых элементов, пригодных для производства бумаги и картона, и крупных частиц древесины - щепы, обломышей, мелких спичек, костры и минеральных примесей.

Задачей сортирования массы является, возможно, полное отделение примесей при минимальной потере волокна. Процесс сортирования древесной массы разделяется на два этапа - грубое и тонкое сортирование.

### Грубое сортирование древесной массы

Грубые примеси удаляются из массы сразу после дефибрирования; так как они могут вызвать нарушение в работе насосов, трубопроводов при подаче массы на тонкое сортирование. Основным видом аппаратов для удаления грубых примесей являются вибрационные щеполовки (табл. 12). Сортировки этого типа отличаются друг от друга, в основном формой ситового лотка, конструкцией вибрационного механизма и амортизаторов.

Таблица 12 Техническая характеристика вибрационных щеполовок типа ЩВ

Наименование параметров	ЩВ-01	ЩВ-04
Площадь сита, м	1,2	2,4
Концентрация массы, %	до 2,5	до 2,5
Частота колебания сита, мин	1420	1400
Амплитуда колебаний сита, мм	1,1	1,1
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	1,5
Диаметр отверстий сит, мм	6,8,10	6,8,10,12
Производительность по воздушно сухому волокну при диаметре сит 10 мм т/сут	80	160
Габаритные размеры, м:		
длина	1,93	2,24
ширина	1,55	2,07
высота	1,00	1,40
Масса с приводом, т	0,50	0,71

Щеполовки устанавливаются после канала в одну или две ступени. Количество щепы, улавливаемой на щеполовках, составляет 0,5-0,7 % от исходной древесины.

## **Тонкое сортирование древесной массы**

Задачей тонкого сортирования является удаление костры различной длины и толщины, состоящей из неразделенных пучков волокон, грубых пучков волокон, частичек коры и луба, примесей неорганического происхождения (песок, цемент и др.). Костра и пучки волокон удаляются на сортировках, частицы коры, луба и примеси неорганического происхождения - на вихревых очистителях.

Общими свойствами частиц древесного сырья и волокон механической массы, которые следует удалить при сортировании и очистке, являются высокая жесткость и крайне низкая способность к образованию межволоконных связей. К ним относятся длинные грубые волокна, костра, мини-костра и обрезки. К костре следует относить частицы длиной более 3 мм, шириной 0,10 – 0,15 мм и толщиной около 0,07 мм, что составляет половину толщины бумажного листа. Обрезки (осколки) — составляющие механической массы кубической формы, длиной 0,25 – 1,0 мм, с низким отношением длины к диаметру.

Костра и обрезки образуются при разрушении древесного сырья под действием острого режущего предмета.

Костра, находясь в бумажном листе и не обладая бумагообразующими свойствами, противодействует образованию межволоконных связей, вызывает локальную концентрацию напряжений и является причиной разрывов бумажного полотна. Наибольшее число обрывов бумажного полотна происходит при расположении костры в поперечном направлении бумажного полотна. Каландрирование значительно ослабляет участки бумажного полотна, содержащего костру, и увеличивает вероятность обрывов.

При наличии в массе микро-костры и грубых нефибриллированных волокон длиной 1,0 - 1,5 мм в процессе печатания на бумаге, содержащей данный полуфабрикат, возникает явление выщипывания. Мелочь, имеющая низкую способность к связеобразованию, может являться причиной как выщипывания так и пыления при печати.

Удаляемые из массы в процессе сортирования и очистки длинные грубые волокна, костру и мини-костру следует перерабатывать для придания им бумагообразующих свойств. Они являются резервом повышения качества полуфабриката. Их отделение, переработка и возвращение в поток сортированной массы может значительно улучшить качество полуфабриката.

Система сортирования должна обеспечить поступление на бумагоделательную машину механической массы, обладающей достаточным для данного вида продукции бумагообразующими свойствами.

Сортировки любой конструкции делят поступающую в них массу таким образом, что в кондиционный поток попадает некоторое количество включений, а с потоком отходов уходит кондиционное волокно. Нежелательные последствия этой особенности процесса – низкую эффективность разделения и значительные потери кондиционного волокна – можно свести к минимуму рациональной организацией технологической схемы разделения.

Для повышения эффективности разделения кондиционный поток последовательно пропускают через несколько сортировок. Такую организацию процесса называют ступенчатым разделением, а последовательно установленные сортировки – ступенями.

Уменьшение количества кондиционного волокна, теряемого с потоком отходов, достигается повторным пропуском потока отходов через дополнительные сортировки. Такую организацию процесса разделения называют каскадным разделением, а группы сортировок для осуществления этой схемы – каскадами.

Схема ступенчатого разделения приведена на рисунке 9. Кондиционный поток последовательно проходит три ступени разделения. При этом на каждой ступени могут быть установлены сортировки, действие которых основано на разных принципах разделения (по размерам, форме и плотности включений), что придает процессу особую эффективность. Потоки отходов от каждой ступени могут либо перерабатываться отдельно, либо объединяться (как показано на схеме) для совместной утилизации всех отделяемых включений. Серьезным недостатком приведенной схемы является потеря большого количества кондиционного волокна с потоком отходов.

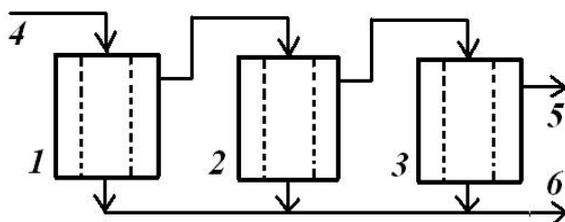


Рисунок 9 – Схема трехступенчатого разделения

1, 2, 3 – сортировки первой, второй и третьей ступеней; 4 – поток массы, поступающей на разделение; 5 – кондиционный поток; 6 – поток отходов

Каскадное разделение (рисунок 10) позволяет полнее отделить кондиционное волокно от потока отходов.

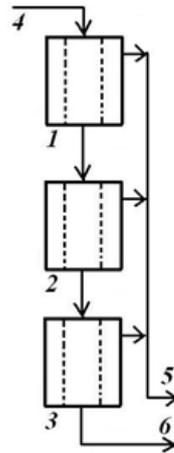


Рисунок 10 Схема трехкаскадного разделения

1, 2, 3 – сортировки первого, второго и третьего каскадов; 4 – поток массы, поступающей на разделение; 5 – кондиционный поток; 6 – поток отходов

При этом доля включений в потоке отходов увеличивается от первого каскада к последнему. Соответственно увеличивается вероятность попадания включений в кондиционный поток, то есть при переходе от каскада к каскаду снижается эффективность разделения.

В сравнении со ступенчатым разделением, при каскадной схеме меньше потери хорошего волокна, но хуже качество очистки кондиционного потока.

Каскадное разделение с рециклами (рисунок. 11) значительно повышает эффективность разделения, так как более загрязненные кондиционные потоки после второго и последующих каскадов возвращаются на повторное разделение в предыдущие каскады. При этом сохраняется присущий каскадным схемам низкий уровень потерь кондиционного волокна.

Главный недостаток схем с рециклами – дополнительные капитальные вложения и текущие расходы для обслуживания циркулирующих потоков.

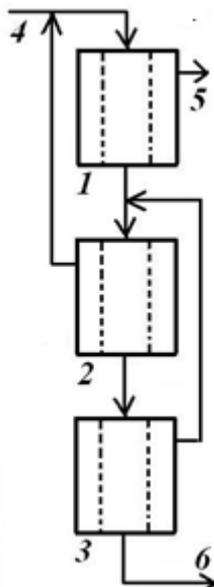


Рисунок 11 Схема трехкаскадного разделения с рециклами

1, 2, 3 – сортировки первого, второго и третьего каскадов; 4 – поток массы, поступающей на разделение; 5 – кондиционный поток; 6 – поток отходов

На схеме (рис 12) представлена традиционная схема сортирования древесной массы. Масса после бассейна снятия латентности подается на двухступенчатое сортирование. После сортировок отсортированная и разбавленная масса насосами подается на сгущение к пяти сгустителям, где сгущается до концентрации 10 – 15 %.

Отходы с сортировок направляются в бассейн отходов, подаются на сгуститель отходов и далее на рафинер отходов для размола.

Количество отходов сортировок составляет 25 % от всего потока массы.

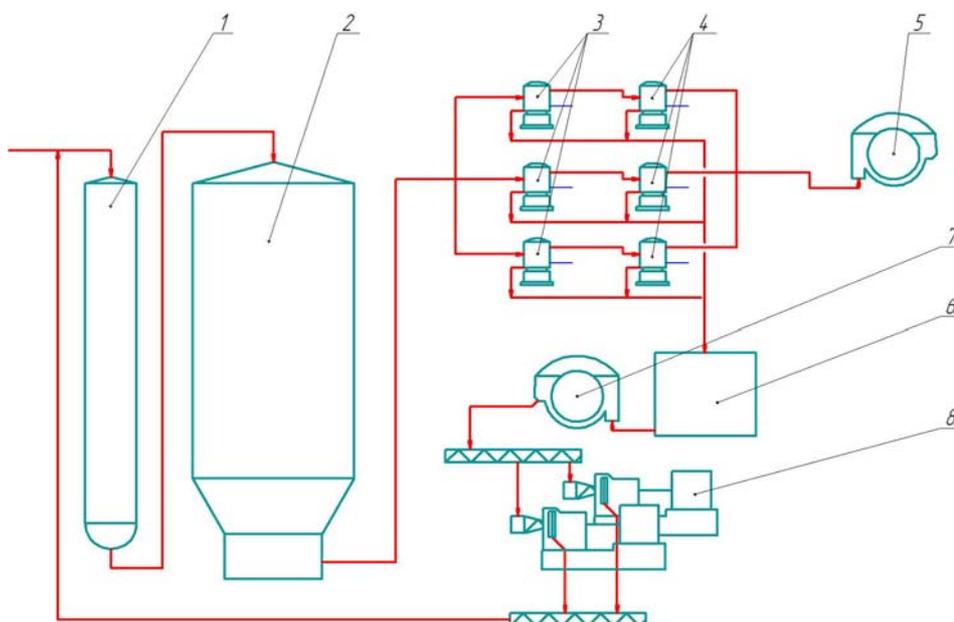


Рисунок 5.1 – Традиционная схема сортирования

Серьезным недостатком существующей схемы сортирования является потеря большого количества кондиционного волокна с потоком отходов.

Данный недостаток можно устранить, проводя сортирование массы с использованием рецикла (рис. 12).

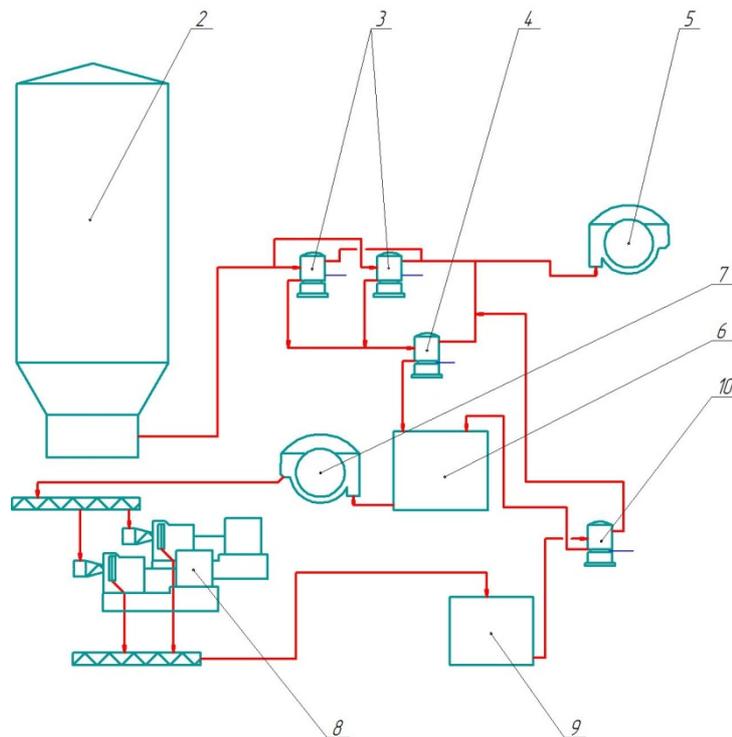


Рисунок 12 - Технологическая схема сортирования рециклом

Из бассейна снятия латентности волокнистая масса насосами подается на первую ступень сортирования. Отсортированная масса с сортировок первой ступени сортирования поступает на барабанные вакуум-фильтры, где сгущается до концентрации не менее 10 % и далее шнековыми конвейерами подается в насос высокой концентрации.

Насосом высокой концентрации масса подается в башню аккумулятор для ее хранения.

Отходы сортирования разбавляются оборотной водой до концентрации 1 % и подаются на вторую ступень сортирования. Отсортированная масса с сортировки второй ступени поступает в общий поток отсортированной массы первой ступени.

Отходы со второй ступени сортирования поступают бассейн бак отходов сортирования. Из бассейна отходов масса подается на сгущение, которое производится на вакуумном фильтре до концентрации 20 – 25 % после чего направляется на размол. Размолотые отходы системой транспортеров направляются в бассейн размолотых отходов, откуда насосом подаются на сортировку отходов. Отсортированная масса подается в общий поток отсортированной массы. Отходы сортирования подаются в бассейн отходов сортирования после второй ступени, откуда подаются на размол.

Преимуществом данной схемы сортирования является:

- повышается эффективность разделения, так как загрязненная масса подается на вторичное сортирование;
- многоступенчатое сортирование массы позволяет сохранить длинно-волокнистую массу;
- улучшается качество получаемой древесной массы, так как от отходов сортирования после размола отделяются грубые неразработанные волокна, подаваемые снова на размол;
- ступенчатое сортирование позволяет, уменьшит уровень потерь кондиционного волокна;
- предложенная схема сортирования исключает из потока две сортировки, что уменьшает затраты на электроэнергию и техническое обслуживание.

Важным фактором процесса сортирования является оптимальное значение концентрации массы, при правильном значении которой облегчается прохождение костры через слой волокон, что способствует улучшению эффекта сортирования; одновременно такие условия улучшают проникновение пластичных качественных волокон в отсортированную массу.

При низкой концентрации массы через отверстия сита проходит костра, особенно пирамидальная. При повышенной концентрации происходит мгновенное забивание отверстия сита или резкое снижение выхода длинных волокон из-за большого волокнистого слоя перед поверхностью сита.

Наибольшее распространение для тонкого сортирования массы получили центробежные сортировки с открытым выходом массы типа СЦ и «Ковэн» и сортировки, работающие под напором массы типа СЦН и «Центрисортер».

В настоящее время для сортирования массы широко применяются напорные сортировки ротационного типа (табл. 15), обеспечивающие эффективность удаления загрязнений до 95 %. Большая скорость перемещения массы, кроме фильтрационного эффекта в слое волокон, создает также динамическое воздействие, в результате которого повышается эффективность сортирования. Частицы костры, подходящие к отверстиям сита, поворачиваются и уходят в поток отходов. Кроме этого динамические нагрузки влияют на роспуск пучков волокон.

Таблица 13 Техническая характеристика напорных сортировок с цилиндрическим ротором

Наименование параметров	СВД-04	СВД-0,9	СЦН-2,0
Площадь сита, м <sup>2</sup>	0,45	0,9	2,0
Максимальная концентрация массы, %	до 3,0	до 3,0	до 3,0
Давление поступающей массы, МПа	0,07-0,4	0,07-0,6	0,07-0,46
Перепад давления в сортировке, МПа	до 0,04	до 0,04	до 0,04
Расход разбивательной воды, л/мин	до 800	до 2000	до 1400
Частота вращения ротора, мин"	1460-	1035-	820-985
Диаметр ситового барабана, мм	380	530	800
Высота ситового барабана, мм	380	560	800
Диаметр сит барабана, мм	1,2-3,0	1,2-3,0	1,2-3,0
Ширина шлиц (щелей)	0,25-0,70	0,25-0,70	0,25-0,70
Мощность электродвигателя, кВт	55	100	250
Габаритные размеры, м:    длина	1,97	2,58	3,38
ширина	1,02	1,29	1,87
высота	1,42	1,87	2,84
Масса, т	1,70	2,79	6,27

### Переработка отходов сортирования

Отходы тонкого сортирования состоят из пучков волокон, щепочек, иглообразной костры, неотделенных длинных волокон и мелочи из оборотной воды. Эта масса условно может быть разделена на три фракции:

- пучки неразделенных волокон (щепочки) со степенью помола около 6 °ШР;
- волокнистая масса, состоящая из наиболее длинных волокон со степенью помола 20-25 °ШР;
- мелочь оборотной воды.

В схемах по переработке отходов сортирования предусматриваются следующие операции:

- измельчение щепы в молотковой мельнице;
- сгущение потоков измельчения щепы и отходов тонкого сортирования до концентрации 15-30 %;
- размол сгущенных отходов на дисковой мельнице в одну или две степени;
- возвращение размолотых отходов в общий поток сортирования (бассейн под щеполовкой) или отдельное сортирование и очистка потока отходов с последующим возвращением в линию сгущения массы.

В процессе размола в дисковых мельницах отходов сортирования существенно улучшаются их бумагообразующие свойства и повышаются все

показатели механической прочности, за исключением сопротивления раздиранию, которое снижается из-за уменьшения длины волокна. При размоле с концентрацией массы 20-30 % длина волокон уменьшается незначительно, но увеличивается удельный расход энергии.

## 10. Очистка древесной массы

Центробежные вихревые окислители применяются для отделения от волокнистой суспензии загрязнений, имеющих большую удельную массу, чем удельная масса волокна. Это частицы песка, бетона, коры, частично удаляется костра. Процесс очистки осуществляют в 3-4 ступени, чтобы потери волокна с отходами были минимальными. Кроме этого, необходимо, чтобы расход энергии при очистке массы был возможно низким, так как он достигает 80-100 кВт\*ч/т абс. сухого волокна.

Испытание очистителей различной величины, выполненные канадским институтом целлюлозы и бумаги в Монреале, показали, что вихревой очиститель диаметром 150 мм дает наиболее удовлетворительные результаты по очистке и удалению костры при концентрации массы 0,45-0,6 % и перепаде давления 180-250 кПа. Производительность очистителя составляет 400-500 л/мин в зависимости от давления и температуры массы. Степень очистки достигает 55-90 %.

Отечественные установки для очистки древесной массы в основном оснащаются очистителями типоразмера ОК-02 (табл. 13).

Таблица 13 Техническая характеристика установок вихревых очистителей УВК-02

Параметры	УВК-50-02	УВК-120-02	УВК-180-02	УВК-300-02	УВК-400-02	УВК-500-02
Производительность по воздушно сухому волокну, т/сут	50	120	180	300	400	500
Кол-во очистителей, шт:						
I ступень	20	46	70	114	160	184
II ступень	6	12	18	28	32	34
III ступень	2	4	3	8	16	18
Установленная мощность, кВт	90	327	555	610	945	1495
Габаритные размеры, мм						
длина	5,84	12,95	6,34	8,72	19,34	7,39
ширина	2,94	2,14	6,79	5,93	7,89	5,48
высота	2,46	2,65	3,15	3,20	3,20	2,82
Масса, т	4,69	10,45	17,89	24,70	35,95	74,40

### Контрольные вопросы

1. Назначение грубого и тонкого сортирования древесной массы?
2. По каким схемам осуществляют тонкое сортирование древесной массы?
3. Какое оборудование используют для тонкого сортирования массы?
4. В чем заключается переработка отходов сортирования?
5. Для чего проводят вихревую очистку древесной массы?

### Библиографический список

1. Непенин Н. Н. Технология целлюлозы. Производство сульфитной целлюлозы. -М.: Лесная промышленность, 1976. Т. 1.
2. Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы. Производство сульфатной целлюлозы. -М.: Лесная промышленность, 1990. Т. 2.
3. Непенин Н. Н., Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы. - М.: Экология. 1994. Т. 3.
4. Шамко В. Е. Полуфабрикаты высокого выхода. - М.: Лесная промышленность, 1989.
5. Ласкеев П. Х. Производство древесной массы. - М.: Лесная промышленность, 1967.
6. Пузырев С. С. Современная технология механической массы. СПбГТУ. - СПб., 2000. Т. 1, т. 2.
7. Оборудование целлюлозно-бумажного производства / под ред. Чичаева В. А. - М.: Лесная промышленность, 1981. Т. 1.
8. Технология целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы. В 3 т. - СПб.: Политехника, 2003. Т. 1. Ч. 3.
9. Поляков Ю. А. Производство механической массы: учебное пособие. СПбГТУРП. - СПб. 1992.
10. Аким Э. Л. Целлюлозно-бумажная промышленность России в глобальном контексте. Материалы Международной научно-технической конференции «ПАП-ФОР 2004». СПб., 2004. С. 19-27.
11. Поляков Ю. А., Вельский А. П., Лаптев В. Н. Древесно-массное производство: учебное пособие / ЛТИЦБП. - Л., 1989.
12. Лаптев В. Н. Производство полуцеллюлозы: учебное пособие / СПбГТУРП. - СПб, 2003.
13. Лаптев В. Н., Ванчаков М. В. Практикум по технологии и оборудованию целлюлозно-бумажного производства. - М.: Экология, 1991.